

Universidad Carlos III de Madrid

**Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e
Ingeniería Química**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS EN UNA INDUSTRIA CÁRNICA**

**Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Industrial**

AUTOR: RAFAEL LÓPEZ NAVAJAS

TUTOR: Dr. ANTONIO AZNAR JIMENEZ

MAYO 2015

INDICE GENERAL

1.	OBJETO DEL PROYECTO	6
2.	ANTECEDENTES	7
2.1	DATOS DE LA INDUSTRIA DE LA QUE PROCEDE EL EFLUENTE:	7
2.2	ACTIVIDA DIARIA	7
2.3	DATOS DE PARTIDA	8
2.4	LIMITE DE VERTIDO	8
2.5	ANTECEDENTES MEDIOAMBIENTALES DEL SECTOR DE LOS MATADEROS	10
2.6	ANTECEDENTES RELATIVOS A PROBLEMAS ENCONTRADOS EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN LA DEPURACIÓN PROCEDENTE DE AGUAS DE LOS MATADEROS.....	11
3.	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO EN LOS MATADERO.....	12
3.1	FAENADO INICIAL COMÚN PARA VACUNO Y PORCINO	14
3.1.1	<i>Recepción y confinamiento de las reses.</i>	14
3.1.2	<i>Aturdimiento</i>	14
3.1.3	<i>Sacrificio</i>	15
3.1.4	<i>Izado.</i>	15
3.1.5	<i>Desangrado.</i>	15
3.2	FAENADO ESPECÍFICO VACUNO (Línea de ganado vacuno).....	15
3.2.1	<i>Pelado (corte de patas y cuernos)</i>	15
3.2.2	<i>Desollado</i>	16
3.2.3	<i>Corte de Cabeza</i>	16
3.2.4	<i>Separación y faenado de las vísceras.</i>	16
3.2.5	<i>Despiece.</i>	16
3.3	FAENADO ESPECÍFICO PORCINO (Línea de ganado porcino).	16
3.3.1	<i>Recepción y confinamiento de las reses.</i>	17
3.3.2	<i>Sacrificio.</i>	17
3.3.3	<i>Desangrado.</i>	17
3.3.4	<i>Escaldado.</i>	17
3.3.5	<i>Chamuscado y pelado.</i>	17
3.3.6	<i>Lavado (porcino)</i>	18
3.3.7	<i>Evisceración y corte de Cabeza y patas.</i>	18
3.4	FAENADO FINAL COMÚN VACUNO y PORCINO	19
3.4.1	<i>Lavado</i>	19
3.4.2	<i>Oreo/Refrigeración</i>	19

3.4.3	Despiece.	19
3.4.4	Congelación y Almacenamiento.	19
3.4.5	Cocedero de sangre.	20
3.4.6	Digestor de desechos.	20
3.4.7	Control sanitario.	20
3.4.8	Proceso de limpieza.	20
4.	PARÁMETROS TÍPICOS DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS	21
4.1	TOMA DE MEDIDAS DEL AGUA Y OBTENCIÓN DE VALORES DE PARÁMETROS DE CONTAMINACION	31
5.	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS PROCEDENTES DE LOS MATADEROS: ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y COMPOSICIÓN	32
5.1	CONSUMO DE AGUA	32
5.2	GENERACIÓN AGUA RESIDUAL DURANTE LA ETAPAS DE FAENADO	33
5.3	PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS MATADEROS.	35
5.4	COMPOSICIÓN DE LOS AFLUENTES DE MATADERO.....	36
5.5	BIODEGRADABILIDAD.....	38
5.6	ACCIONES DE MEJORA A TENER EN CUENTA EN EL SECTOR MATADEROS	39
6.	DESCRIPCIÓN ETAPAS TÍPICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTE DE LOS MATADEROS	40
I.	LINEA DE AGUAS.....	41
6.1	PRETRATAMIENTO	41
6.2	TRATAMIENTOS PRIMARIOS	51
6.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO BIOLÓGICO.....	55
6.3.1	PROCESOS AEROBIOS.....	57
6.3.2	ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES PROCESOS ANÓXICOS.....	62
6.3.3	FUNDAMENTO DEL PROCESO ANAEROBIO.....	62
II.	LINEA DE FANGOS	64
6.4	TRATAMIENTO DE FANGOS.....	64
6.4.1	ESPESAMIENTO DE LODOS.....	64
6.4.2	TRATAMIENTOS PREVIOS AL SECADO DE LODOS	65
6.4.3	SECADO o DESHIDRATACIÓN DE LODOS	66
7.	ALTERNATIVAS TRATAMIENTO BIOLÓGICO	69
7.1	SISTEMA MBR.....	69
7.2	AIREACIÓN PROLONGADA	76

7.3	ALTERNATIVA LAGUNAS.....	77
7.4	ALTERNATIVA SISTEMA DE BIODISCOS ROTATORIOS.	78
7.5	ALTERNATIVA ANAEROBIA UASB	80
8.	JUSTIFICACIÓN SOLUCIÓN TRATAMIENTO BIOLÓGICO ESCOGIDO	83
9.	MEMORIA DESCRIPTIVA Y JUSTIFICATIVA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	85
9.1	DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO PROPUESTO	87
9.1.1	PRETRATAMIENTO	87
9.1.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	88
9.1.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO BIOLÓGICO.....	89
9.1.4	TRATAMIENTO DE FANGOS.....	90
9.2	MEMORIA JUSTIFICATIVA.....	91
10.	BASE DE CÁLCULO. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIONES	96
10.1	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE ENTRADA	96
10.2	CAUDAL DE DISEÑO.....	96
10.3	LIMITES DE VERTIDO DEL EFLUENTE (RESULTADOS A OBTENER).....	97
I.	CÁLCULO DE LINEA DE AGUAS	98
I.1	PRETRATAMIENTO	98
I.1.1	POZO ENTRADA DE RECEPCIÓN	98
I.1.2	DESBASTE DE GRUESOS.....	100
I.1.3	POZO DE BOMBEO	107
I.1.4	TAMIZADO.....	114
I.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	118
I.2.1	HOMOGENEIZACIÓN	118
I.2.2	REGULACIÓN pH.....	121
I.2.3	SISTEMA DE DESENGRASADO POR FLOTACIÓN	123
I.3	TRATAMIENTO BIOLÓGICO (SBR).....	134
II.	CÁLCULO DE LINEA DE FANGOS	145
II.1	ESPESADO DE FANGOS.....	145
II.2	DOSIFICACIÓN FANGO PROCEDENTE DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	148
II.3	DESHIDRATACIÓN DE FANGOS.....	148
II.4	ESTABILIZACIÓN DEL FANGO.....	149
11.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS	150
12.	ESTUDIO DE MEJORAS A IMPLEMENTAR Y REPLANTEAMIENTO DISEÑO EDAR.....	152

12.1	MEJORAS BASADAS EN EL REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DEL MATADERO EN LA ETAPA DEL SANGRADO	152
12.2	MEJORAS BASADAS EN EL REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DEL MATADERO EN LA ETAPA DE EVISCERADO	155
12.3	ESTUDIO REDISEÑO ESTACIÓN AGUAS RESIDUALES MATADERO.....	156
13.	CONCLUSIONES.....	159
14.	BASES LEGALES DEPURACION	162
15.	BIBLIOGRAFIA	167

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 2.1: Determinación Analítica del Agua a la Salida del Matadero	8
Tabla 2.2 Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación Ley 10/1993 CAM.....	9
Figura 3.1 “Diagrama de flujo proceso productivo” de un matadero de Bovino y Porcino, extraído de la Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector Cárnico	13
Tabla 5.1 Consumos de agua en mataderos polivalentes. Fuente: Prevención de la contaminación en la industria cárnica en la región mediterránea	33
Tabla 5.2 Principales Parámetros y fuentes de Contaminación Aguas residuales de los Mataderos.....	35
Tabla 5.3 Valores típicos de los parámetros de contaminación de aguas residuales mataderos. Fuente: Revista EUROCARNÉ nº87.....	36
Tabla 5.4 Recogida del BREF, documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas disponibles para los mataderos y las industrias de tratamiento de residuos animales.....	37
Tabla 5.5 Grado de biodegradación según la relación entre la DBO5 y la DQO (Metcalf & Eddy, 2003)	38
Tabla 6.1 Procesos Biológicos Tratamiento Agua Adaptada libro “Metcalf &Eddy Ingeniería de aguas residuales Tratamiento Vertido y Reutilización”.	56
Tabla 6.2. Esquema Tratamientos de Fangos, adaptado “Tratamiento de aguas residuales. R. S. Ramalho	68
Tabla 10.1 Características del Agua a la entrada de la EDAR.....	96
Tabla 10.2 Caudal de agua procedente del Matadero.....	97
Tabla 10.3 Valores Límite del Agua a la salida de la EDAR	97
Tabla 10.4 Dimensiones de Pozo de Gruesos	99
Tabla 10.5 Tipos de Rejas según el Tamaño de Luz	100
Tabla 10.6 Características Rejas	102
Tabla 10.7 Dimensiones Rejas Seleccionadas	103
Tabla 10.8 Parámetros Dimensionamiento canal desbaste.....	104
Tabla 10.9 Dimensiones Canal de Desbaste.....	105
Tabla 10.10 Dimensiones Pozo de Bombeo	109

Tabla 10.11 Pérdida de Carga por accesorio	111
Tabla 10.12 Características Técnicas Tamices Extraída Catálogo Fabricante Gedar.....	115
Tabla 10.13 Foto Tamiz Rotativo. Fabricante Gedar	115
Tabla 10.14 Modelos Tamices Rotativos. Extraída Catálogo Fabricante Gedar.....	116
Tabla 10.15 Características del Agua a la salida del Pretratamiento	118
Tabla 10.16 Dimensiones Tanque de Homogeneización	120
Tabla 10.17 Solubilidad del Aire a distintas Temperaturas a una presión de 101,3KPa.....	127
Tabla 10.18 Dimensionamiento Depósito de Aeroflotación	131
Tabla 10.19 Características del agua a la salida del Tratamiento Primario.....	133
Tabla 10.20 Parámetros de diseño para los procesos de fangos activos. “Metcalf & Eddy”	135
Tabla 10.21 Clasificación Tratamiento de fangos activos. “Metcalf & Eddy”	136
Tabla 10.22 Dimensionamiento Depósito SBR.....	138
Tabla 10.23 Características del Agua a la Salida del Tratamiento Secundario.....	144
Tabla 10.24 Composición productos resultantes Deshidratación de Fangos	149
Tabla 11.1 Cálculo Iterativo de la velocidad de paso según fórmula de Manning.....	151
Tabla 12.1 Rendimientos de eliminación necesarios antes de la implementación de mejoras	153
Tabla 12.2 Parámetros de contaminación y Rendimientos de eliminación necesarios tras la implementación de mejoras en el la etapa de sangrado	154
Tabla 12.3 Parámetros de Contaminación a la entrada de la Estación de aguas tras la implementación de las mejoras en el proceso de Sangrado y Eviscerado.	156
Tabla 12.4 Porcentajes eliminación Tamiz Rotativo según ejemplo descrito en el BREF	157
Tabla 12.5 Porcentajes eliminación Tratamiento de Grasas según ejemplo descrito en el BREF	157
Tabla 12.6 Porcentajes de eliminación a la salida del Tratamiento Primario con las mejoras implementadas.....	158
Tabla 13.1 Rendimiento de eliminación principales contaminante durante las etapas de depuración.	159
Tabla 13.2 Porcentajes de eliminación necesarios diseño de EDAR con y sin mejoras descritas.	161

1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este proyecto es realizar la elección, diseño y dimensionamiento de los principales elementos que componen una planta depuradora de aguas residuales para un matadero industrial de manera que, tras el paso del agua residual a través de las sucesivas etapas que compondrán dicha planta se consiga eliminar concentraciones de materia orgánica, grasa, nitrógeno y fósforo presentes en el agua a la entrada de la estación de agua depuradora en porcentajes lo suficientemente altos para conseguir niveles de contaminación inferiores a los indicados de acuerdo a la legislación vigente.

En la memoria del proyecto se describirán los procesos llevados a cabo en los Mataderos, la contribución a la contaminación de las aguas durante cada una de las principales actividades que tienen lugar en este tipo de industrias, así como las características de los efluentes procedentes de este tipo de industrias.

Para la elección de un tratamiento idóneo partiremos de los datos analíticos del agua a la salida de un Matadero Municipal que nos han sido proporcionados y que son el objeto de este proyecto. Tendremos en cuenta el tipo de actividad y diversos factores entre los que se encuentran la optimización de espacio. Presentaremos varias alternativas incluyendo los pros y los contras de cada una de ellas, así como la viabilidad de las mismas para el caso particular de este proyecto. Describiremos la solución adoptada justificando los motivos por los que se decide incluir los principales elementos que conformen cada una de las etapas que tendrá lugar en el tratamiento diseñado. En los siguientes puntos procederemos a realizar los cálculos necesarios para el correcto dimensionamiento de los principales equipos necesarios en las distintas fases por las que pasará el afluente hasta su posterior evacuación hacia la Red de Alcantarillado Municipal, incluyendo los cálculos Hidráulicos del agua a lo largo de la planta diseñada.

Una vez diseñada la Planta de aguas residuales según los datos que nos han sido facilitados, incluiremos algunas posibles modificaciones en los procesos de producción basadas en las publicaciones de mejores Técnicas Disponibles para la industria Cárnica con el fin de estimar de forma cualitativa su impacto y posibilidad de rediseño del tratamiento de Aguas Residuales desde el punto de aportar una solución más económica y simple para cumplir con las obligaciones legales en materia de aguas.

2. ANTECEDENTES

2.1 DATOS DE LA INDUSTRIA DE LA QUE PROCEDE EL EFLUENTE:

A continuación se indican algunos datos que nos han sido facilitados de un Matadero municipal, los cuales vamos a tomar como Base de Partida para la realización del Tratamiento de Aguas Residuales en este proyecto.

- **PROCEDENCIA**

- INDUSTRIA CARNICA MATADERO MUNICIPAL

- **HORARIO DE TRABAJO:**

Se trabaja de lunes a viernes ente 7-8 horas al día y ocasionalmente los sábados. Se tomarán como dato para el dimensionamiento 8 horas/día.

2.2 ACTIVIDA DIARIA

Matadero Municipal de tamaño medio en el cual se lleva a cabo el sacrificio de Terneros y Cerdos.

- Sacrificio de 170 Terneros diarios
- Sacrificio de 150 Cerdos diarios

- **CAUDAL DE VERTIDO DE AGUA**

- Datos facilitados de consumo diario: 300 m³.

*Valores aplicables días laborables. Sábados, Domingos y festivos tendrá una caudal nulo al no haber actividad.

- **LOCALIZACIÓN**

- Municipio de la Comunidad de Madrid

*No tenemos los datos exactos de donde se ubicaría la instalación que vamos a diseñar por lo que en este proyecto no se hará un estudio topográfico del emplazamiento.

- **VERTIDO DEL EFLUENTE**

- Las aguas van a verter a la Red de Alcantarillado del Municipio en el que se encuentra situado el Matadero. (Vertido Colector Municipal).

2.3 DATOS DE PARTIDA

A continuación se indican en tabla anexa los datos facilitados correspondientes a la Analítica realizada del agua a la salida del matadero del que proceden.

PARAMETRO	VALOR
D.Q.O (mg/l)	19040
D.B.O ₅ (mg/l)	11440
MES o SS (mg/l)	8640
pH	6,2
NTK (mg/l)	736
AMONIO(mg/l)	81,5
FOSFORO TOTAL(mg/l)	120
* GRASAS (mg/l)	448
*(valor no facilitado se ha estimado)	

Tabla 2.1: Determinación Analítica del Agua a la Salida del Matadero.

2.4 LIMITE DE VERTIDO

La ley 10/1993 de 20 de octubre de la Comunidad de Madrid establece en su anexo 2 los Valores Máximos para los distintos parámetros de contaminación de las Aguas para el vertido en el Sistema Integral de Saneamiento de la Comunidad de Madrid para las Industrias recogidas en el Anexo 1 de la Ley/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación entre las que se encuentra el sector de los Mataderos.

A continuación, en la siguiente tabla extraída del anexo dos de dicha ley indicaremos las exigencias legales de principales Parámetros Contaminantes por los que se ven afectadas las aguas procedentes de las industrias Cárnicas.

Parámetro	Unidades	Valores máximos instantáneos
Temperatura	°C	40
pH (intervalo permisible)		6-10
DBO ₅	mg/l	1.000
DQO	mg/l	1.750
Sólidos en suspensión	mg/l	1.000
Aceites y grasas	mg/l	100
Cianuros totales	mg/l	5
Cloruros	mg/l	2.000
Conductividad	μS/cm ²	7.500
Detergentes totales	mg/l	30
Fluoruros	mg/l	15
Sulfatos	mg/l	1.000
Sulfuros	mg/l	5
Fósforo total	mg P/l	40
Nitrógeno total ⁶	mg N/l	125

Tabla 2.2 Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación Ley 10/1993 CAM

Como se puede apreciar, los datos de las pruebas analíticas reflejados en la tabla de arriba, proporcionados del agua residual a tratar superan ampliamente los valores permitidos por la Ley 10/1993, motivo por el cual queda justificada la necesidad de llevar a cabo la implementación de un Tratamiento de Depuración para las aguas residuales de esta industria.

2.5 ANTECEDENTES MEDIOAMBIENTALES DEL SECTOR DE LOS MATADEROS

En la actualidad el problema de los vertidos llevados a cabo por las industrias está teniendo un alto calado social, ya sea por su importancia medioambiental, como por las leyes más restrictivas que se están imponiendo en un primer momento desde la Unión Europea y seguidas por los países miembros.

De esta forma la directiva **271/91/CEE** obliga a los estados miembros a velar por la aplicación de la normativa que controla el vertido de aguas residuales industriales biodegradables, procedentes de distintos sectores, y que no penetren en las instalaciones de tratamientos de aguas urbanas sin un tratamiento previo. La industria agroalimentaria y en concreto los mataderos englobados dentro de esta industria están directamente afectada por esta directiva.

El consumo de agua en la industria agroalimentaria va aumentando progresivamente, los productos son cada vez más elaborados y sufren mayores manipulaciones provocando un mayor consumo de agua. Este desarrollo tecnológico hace que, paralelamente al consumo de agua aumente también la contaminación de los efluentes.

En este sentido es fácil observar en las aguas residuales grandes cantidades de materiales flotantes, consecuencia de los diferentes tratamientos que se llevan a cabo de las materias primas empleadas en cada caso. En algunas industrias el tratamiento ofrece la posibilidad de aprovechar el ciclo para echar parte de estos desperdicios, para iniciar el ciclo o para utilizarlos como subproductos.

La gran cantidad de agua residual producida en la industria agroalimentaria unida a su alto grado de polución, han sido causa fundamental de la degradación de las aguas de cauces receptores. La solución pasa por la implantación de tratamientos adecuados para cada industria en particular.

La mayoría de las instalaciones se encuentran próximas a núcleos de población, por lo que habitualmente no existe gran disponibilidad del terreno y debe tenerse especial precaución ante la posible generación de malos olores. Además con frecuencia la industria cárnica se encuentra en polígonos industriales que ofrecen la posibilidad de verter las aguas a la red de saneamiento.

Las características de los establecimientos del sector cárnico y la aprobación por la Unión Europea de una nueva clasificación de actividades económicas en base a una nueva nomenclatura de dichas actividades (CNA-93) permiten establecer dos grandes grupos:

- *Preparados de carne y elaborados*
- *Mataderos*: Industria dedicada al sacrificio de animales cuya producto final es la carne fresca, con mayor o menor grado de despiece.

2.6 ANTECEDENTES RELATIVOS A PROBLEMAS ENCONTRADOS EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN LA DEPURACIÓN PROCEDENTE DE AGUAS DE LOS MATADEROS

A continuación se citan varios de los problemas frecuentes que solían darse a la hora de abordar el tratamiento biológico, recogidos en el artículo de M. Peñalba y A. Sánchez “*Replanteamiento para la depuración de aguas residuales en los mataderos*”:

- “Falta de un buen tamizado en el tratamiento primario”
- “Falta de desengrase natural para flotantes”
- “Falta de control y ajuste de nutrientes y PH”
- “Falta de regularidad en la extracción de fangos residuales”

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO EN LOS MATADERO

Los mataderos son los establecimientos donde se sacrifican los animales, constituyen la primera etapa en el proceso de industrialización de la carne, en el que la canal es el producto final.

Se entiende por **canal**, el cuerpo animal de la especie porcina de raza doméstica después del sacrificio, sangrado, eviscerado y depilado, despojado de la lengua, pezuñas (capa córnea que recubre la última falange), genitales, riñones y grasa pelviana, con o sin cabeza.

El matadero cuyos datos utilizaremos para la realización de este proyecto está dedicado al Sacrificio de reses de porcino y bovino con una actividad de unas 320 cabezas/día.

A continuación se describen de forma resumida las distintas fases que constituyen el faenado de los dos tipos de ganado.

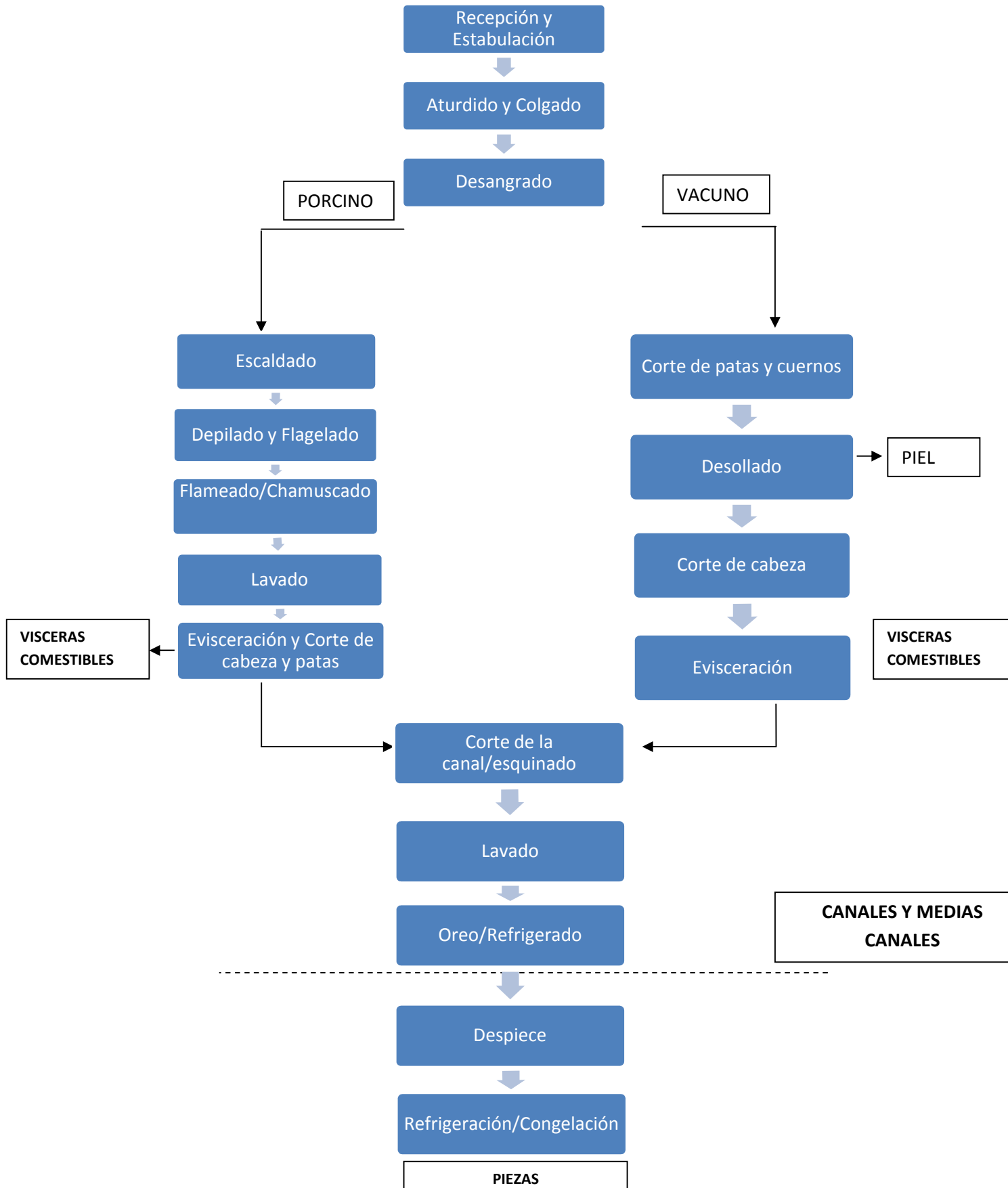


Figura 3.1 “Diagrama de flujo proceso productivo” de un matadero de Bovino y Porcino, extraído de la Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector Cárnico

3.1 FAENADO INICIAL COMÚN PARA VACUNO Y PORCINO

3.1.1 *Recepción y confinamiento de las reses.*

Las reses son llevadas al matadero un día antes de su sacrificio. Durante este tiempo permanecerán en ayuno para reducir el volumen del contenido intestinal y por lo tanto de las bacterias, lo cual, reduce el riesgo de contaminación de la canal durante la manipulación observación en los establos y corrales.

En esta etapa se realizará un primer control sanitario en el que el veterinario del centro debe vigilar la aparición de indicios de animales enfermos.

Las aguas producidas con el limpiado y baldeo de estos corrales se caracterizan por una alta carga orgánica (DBO₅, demanda biológica de oxígeno durante 5 días), acompañadas de altos índices de SS (sólidos en suspensión) y nitrógeno amoniacal.

3.1.2 *Aturdimiento*

Antes de proceder al sacrificio y degüello de los animales se les somete a un método de aturdimiento, tanto por necesidades técnicas como para evitar el sufrimiento.

Los cerdos se conducen hacia la zona de aturdido mediante mangas para cerdos (corredores que van estrechándose hasta poder pasar los cerdos de uno en uno) o por un transportador de aturdido o *restrainer* (pasillos con paredes laterales móviles que mantienen los cerdos de pie hasta el aturdido).

Existen tres métodos para llevar a cabo este proceso: mecánico, eléctrico y gaseado.

Los métodos mecánicos son usados para el aturdimiento de reses bovinas y ovinas, los eléctricos para las ovinas y porcinas, mientras que el gaseado principalmente en las porcinas.

El método de corriente eléctrica o electronarcosis consiste en hacer pasar por el cerebro del animal una corriente eléctrica de alta frecuencia, pero de voltaje relativamente bajo (60-80 voltios), durante unos pocos segundos. En grandes mataderos de cerdos se utiliza el aturdido con dióxido de carbono. Los cerdos se introducen en una cámara y se someten a una concentración de 85 % de CO₂, durante unos 45 segundos.

Una vez aturridos, los cerdos son colgados por sus patas traseras a un transportador aéreo de carril móvil para proceder al degüello.

3.1.3 Sacrificio

Desde los establos, las reses son conducidas a la nave principal del matadero. Pasan de una en una, quedando atrapadas en un estrecho cajón. Allí el matarife primero las aturde, usando una pistola que proyecta un vástago que las golpea en la cabeza, y luego, una vez izada se les secciona la garganta con un cuchillo apropiado.

3.1.4 Izado.

La res es colgada por las patas traseras para ser transportada a través de las distintas partes del faenado.

3.1.5 Desangrado.

El desengrasado se puede realizar vertical u horizontalmente en función de la posición en la que venga el animal, de forma que si viene izado por las patas traseras u horizontalmente si viene transportado en una cinta transportadora.

El animal sacrificado, se coloca sobre una cuba donde se recogerá la sangre del mismo. Con este procedimiento se recuperará del orden del 90 % de la sangre del animal, evitando así el fuerte efecto contaminante que produciría sobre los vertidos del matadero.

El agua residual procedente de la limpieza de esta primera zona de sacrificio (sacrificio + izado + desangrado) está caracterizada por la elevada DBO₅ y el elevado contenido en nitrógeno que da la sangre que arrastra.

Estas primeras etapas de recepción, aturdimiento y desengrasado se dan tanto el sacrificio de reses vacunas como porcinas, en lo sucesivo dependiendo del tipo de res que se trate el resto de etapas del proceso se adaptarán a la morfología del animal.

3.2 FAENADO ESPECÍFICO VACUNO (LÍNEA DE GANADO VACUNO)

3.2.1 Pelado (corte de patas y cuernos)

En esta fase se separan cabeza, cuernos y piel. Al agua de lavado de la zona arrastrará pequeños trozos de piel, pelos, etc.

3.2.2 Desollado

El desollado es el desprendimiento de la piel. Se realiza por medios manuales o mecánicos, tanto en uno como en otro se realiza por la parte posterior de forma que al ir retirando la piel no contacte con la carne del animal para evitar contaminación microbiológica.

3.2.3 Corte de Cabeza

Esta etapa suele tener lugar después del desollado. La cabeza se analizará posteriormente en un análisis veterinario junto con la canal resultante.

3.2.4 Separación y faenado de las vísceras.

En esta etapa, la res se abre en canal y se dejan caer sus vísceras en unas cubas de recogida. Estas vísceras son llevadas a una sala especial de procesado donde se limpian con agua a presión y se separan las partes comestibles de las que no lo son. Estas últimas son enviadas mediante un tornillo sin fin a un *digestor*.

Con el agua de limpieza se arrastran el contenido de las vísceras, de un elevado índice de SS y DBO₅, así como restos de sangre, partículas de carne, etc.

Después del eviscerado el proceso tanto para el ganado como porcino sigue las mismas etapas.

3.2.5 Despiece.

Una vez vaciada la res, se divide longitudinalmente, formándose así las llamadas canales, estas deberán presentarse en el punto de inspección post mortem.

3.3 FAENADO ESPECÍFICO PORCINO (LÍNEA DE GANADO PORCINO).

En el diagrama de flujo, se presenta un esquema aclaratorio del desarrollo del faenado. Como se puede apreciar, existen etapas con idéntica función a las de la línea anterior (desangrado, separación vísceras, despiece,...), aunque el equipo utilizado sea distinto debido a las diferencias morfológicas entre los dos tipos de ganado. Los únicos equipos comunes a las dos líneas son el *digestor*, donde se convierten los desechos de las dos líneas de faenado en grasas y harinas, y el cocedero de sangre.

3.3.1 Recepción y confinamiento de las reses.

Su funcionamiento es idéntico al de la etapa del mismo nombre en la línea de ganado bovino.

3.3.2 Sacrificio.

Las reses son conducidas a la nave principal del matadero, donde son introducidas de una en una en una presa neumática en forma de cuña, quedando inmovilizadas. El matarife les aturde mediante descarga eléctrica en las sienes. La presa se abre y gira para que el animal quede liberado, cayendo en una cuba donde se le sacrifica seccionando la arteria.

3.3.3 Desangrado.

El animal se degüella cortándole la vena cervical y una de las arterias, mientras se eleva, para minimizar el tiempo transcurrido desde el aturdimiento. Se trata de recoger la mayor parte de la sangre del animal en la cuba antes citada. Esta sangre, al igual que la procedente de la línea de bovino, es enviada al *cocedero*. El desangrado se puede realizar vertical u horizontalmente en función de que los animales llegan a este punto colgados por las patas traseras o tumbados sobre una cinta. Para el desangrado horizontal, el animal se coloca horizontalmente y perpendicularmente a la línea de transporte, de forma que la zona donde se ha realizado el corte (desangrado) queda separada del resto del animal, lo que permite recoger la sangre de una forma más higiénica que el anterior.

3.3.4 Escaldado.

El animal se introduce en una cuba que contiene agua hirviendo, con objeto de eliminar parte de la suciedad que el animal pueda tener adherida a su cuerpo, pero sobre todo para reblandecer su piel y facilitar así la eliminación de los pelos (cerdas) en la siguiente fase. Una vez que ha permanecido el tiempo suficiente, los cerdos son izados en el sistema de transporte elevado. El agua de esta cuba de escaldado arrastra altos contenidos en SS (cerdas, partículas de suciedad...) y materia orgánica.

3.3.5 Chamuscado y pelado.

El chamuscado se realiza en un horno de gas a temperaturas de entre 900 °C y 1000°C para eliminar residuos y cerdas superficiales y destruir bacterias presentes. Los cerdos se introducen colgados de la línea y cuando llegan al lugar de contacto se

encienden los quemadores para flamear en ese momento el cuerpo del animal. El cerdo, suspendido ya del sistema de transporte elevado, atraviesa dos arcos de faenado. El primero, valiéndose de una serie de antorchas, chamusca los pelos del animal. El segundo, posee una serie de rastrillos que exfolian la piel del cerdo, llevándose consigo los pelos y restos de piel quemada. Queda así la piel del animal lisa y limpia. Todos estos restos son arrastrados por el agua de limpieza de la zona. Una vez escaldados, se eliminan los pelos y la capa queratinizada de la epidermis, bien a mano con cuchillos, raspadores o cepillos rotatorios o mediante máquinas depiladoras. A nivel industrial, se suelen utilizar únicamente las máquinas depiladoras. Las máquinas funcionan habitualmente en horizontal y constan de un cilindro giratorio provisto en su superficie interna de rascadores metálicos recubiertos normalmente de barras de caucho que voltean varias veces al animal en posición horizontal. A la vez que va girando la máquina, la superficie del animal se va limpiando mediante ducha de agua caliente (40-60°C) a presión que favorece la eliminación de la epidermis y de los pelos desprendidos. Se pueden utilizar máquinas flageladoras antes y después del chamuscado.

3.3.6 Lavado (porcino)

Esta etapa de lavado completa la limpieza y retirada de cualquier tipo de resto que haya podido quedar, derivado de las etapas anteriores. Suele hacerse con agua a cierta presión.

3.3.7 Evisceración y corte de Cabeza y patas.

En esta etapa se extraen las vísceras abdominales y torácicas. El primer corte que se le da al animal es por el abdomen, simultáneamente a esta operación se realiza una inspección. Una vez eviscerado, se corta después la canal en dos, mediante sierras, por el centro de la columna vertebral o a ambos lados con lo que se obtienen las medias canales. También se corta la cabeza. Las partes que no se consideran aptas para el consumo humano pasan al departamento de subproductos, donde se esterilizan y transforman en harina y grasa purificada para usos industriales.

Las canales limpias se pesan y clasifican según unos parámetros establecidos. La canal y los productos comestibles del cerdo pueden llegar a representar el 75 % u 80 % del peso en vivo del animal.

El funcionamiento del resto de operaciones: *separación y faenado de las vísceras, despiece, almacenamiento, cocedero de sangre, digestor de desechos y control sanitario*, es idéntico al de la línea de ganado bovino.

3.4 FAENADO FINAL COMÚN VACUNO Y PORCINO

3.4.1 Lavado

Una vez obtenidas las canales, se limpian con agua fría para eliminar restos de sangre, grasas y demás despojos que hayan quedado después del seccionado de la canal con el fin de reducir microorganismos que contaminaran la canal.

El agua utilizada en esta etapa arrastra pequeñas partículas de carne y grasas.

Los canales se dejan escurrir durante un espacio de tiempo antes de su pesado.

3.4.2 Oreo/Refrigeración

Los canales se transportan hasta una primera sala de preenfriamiento cuyo fin es el que se reduzcan la temperatura de la canal igual o inferior a 7 °C y de 3 °C para los despojos, en un tiempo máximo de 24 h. Tras el preenfriamiento las canales pasan a una cámara de refrigeración u oreo. Los canales permanecen en las cámaras de refrigeración hasta su posterior traslado a las salas de despiece. Antes del almacenamiento se realiza un control de pesado.

3.4.3 Despiece.

En las salas de despiece, las medias canales procedentes del matadero son deshuesadas y divididas en partes más pequeñas. Se puede realizarse en caliente o en frío, dependiendo de que exista o no una refrigeración anterior y de que se cumplan los requisitos técnico-sanitarios exigidos. El despiece en caliente permite una rápida refrigeración posterior de las piezas obtenidas, aunque las condiciones de temperatura pueden favorecer un rápido crecimiento microbiano. El despiece se realiza en una sala refrigerada donde se mantiene una temperatura de 12°C.

3.4.4 Congelación y Almacenamiento.

Una vez extraídas las distintas piezas (solomillos, falda, lomo, etc...), así como las vísceras comestibles, son llevadas a **cámaras frigoríficas** donde permanecerán hasta su salida del matadero.

3.4.5 Cocedero de sangre.

La sangre recuperada durante el *desangrado* se cuece en unos depósitos a presión, que trabajan en discontinuo, obteniéndose la cuajada de sangre. Industrias especializadas la recogerán para la fabricación de piensos de animales. Los vapores condensados así como el agua de cocido tienen elevados contenidos en DBO₅ y nitrógeno, provenientes de su contacto con la sangre.

3.4.6 Digestor de desechos.

Se trata igualmente de un depósito a presión que recibe, a través de un tornillo sin fin, la totalidad de los desechos producidos en el faenado de canales y vísceras. De este equipo se obtienen dos productos: grasas y sebos (líquido que se cuaja al enfriar), y harinas. Se utilizarán en fábricas de jabones y piensos de animales. El agua que se vierte arrastra altos contenidos en SS y DBO₅.

3.4.7 Control sanitario.

El veterinario del centro controla todas y cada una de las reses que se faenan en el matadero: observación de la coloración de las carnes, del estado de los ganglios, análisis de las vísceras (pulmones e hígados principalmente), comprobación de la edad de la res por su dentadura, y muchas otras labores constituyen la rutina diaria del técnico sobre el que recae toda la responsabilidad de que no salga nada del matadero que pueda dañar la salud humana.

3.4.8 Proceso de limpieza.

Cada día, tras finalizar las tareas de sacrificio y faenado, se realiza una limpieza exhaustiva de las instalaciones (nave y equipos) utilizando mangueras de agua caliente a presión y sustancias desinfectantes. Los corrales y establos también son objeto de una limpieza periódica que incluye la retirada de residuos sólidos y el baldeo del suelo con agua a presión.

El proceso de limpieza es, como se puede suponer, un punto muy importante a considerar en el análisis y cuantificación de los vertidos del matadero.

4. PARÁMETROS TÍPICOS DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

El control analítico del agua sirve para contrastar las propiedades del agua y su calidad así como medio para determinar el cumplimiento de las normativas legales. Está estandarizado por normas recogidas, que se traducen en una serie de parámetros fundamentales en la caracterización del agua, que son determinados en el laboratorio.

A continuación se enumeran los parámetros fundamentales determinables por laboratorio

- 1- pH
- 2- DQO
- 3- DBO₅
- 4- Sólidos
- 5- Aceites y grasas
- 6- Conductividad
- 7- Metales
- 8- Nitrógeno
- 9- Fosfatos y fósforo
- 10- Calcio
- 11- Magnesio
- 12- Carbonato
- 13- Bicarbonato
- 14- Potasio
- 15- Sulfato
- 16- Cloruros
- 17- Dureza Total
- 18- Acidez-alcalinidad
- 19- Oxidabilidad
- 20- Cloro
- 21- Residuo seco
- 22- Sustancias extraíbles por cloroformo
- 23- Oxígeno disuelto
- 24- Sílice
- 25- Turbidez

26- Color

27- Detergentes

28- Cianuros

29- Fenoles

30- Humedad.

Analíticas básicas según el tipo de tratamiento

Tratamientos biológicos aerobios:

- pH
- DQO
- DBO
- SS
- Aceites y grasa
- Conductividad
- Fósforo
- NTK

Tratamientos biológicos anaerobios:

- pH
- DQO
- DBO
- SS
- Aceites y grasa
- Conductividad
- Fósforo
- NTK
- Alcalinidad
- pH

El pH mide la acidez o basicidad de un agua. Se mide de 0 a 14. Un vertido es ácido si su pH es <7 . El control de pH en un proceso de depuración es muy importante puesto que pH extremos crean un ambiente no idóneo para la supervivencia de ciertas bacterias depuradoras en los tratamientos biológicos.

Adicionalmente ciertos rangos de pH favorecen la predominancia de unas bacterias frente a otras, lo que puede ser interesante en ciertas ocasiones. El pH también afecta a los tratamientos físico-químicos puesto que ciertas sustancias van a precipitar en niveles de pH altos, mientras que son solubles a pH bajos, favoreciendo o no su eliminación en función al valor de pH existente.

El pH se mide electrométricamente o mediante diferencia de potencial entre dos electrodos con un pH-metro de sobremesa para el laboratorio o portátil para medida in situ porque el valor del pH puede variar desde la recogida de muestra hasta que es medido en el laboratorio.

- **DQO**

Son las siglas de “Demanda Química de Oxígeno”, es una medida de la cantidad de materia orgánica presente en el agua que se puede oxidar químicamente. Se mide esta cantidad indirectamente a través de la cantidad de oxidante (oxígeno) necesaria para oxidar esa materia orgánica. Se expresa en mg/l o ppm (partes por millón) que son unidades equivalentes. La DQO no mide toda la materia orgánica presente en el agua, sino solamente aquella parte que se puede oxidar mediante un potente agente oxidante como es el dicromato potásico.

La DQO es la medida de contaminación más ampliamente utilizada debido a la importancia de la medida de la cantidad de materia orgánica de un vertido unido a su fiabilidad y a su rapidez de ejecución, solamente 3 horas. La cantidad de materia orgánica es importante en la depuración porque cuando un vertido tiene eleva (DQO elevada), el oxígeno presente en el cauce receptor se empleará en oxidar por vía química o biológica dicha materia orgánica y al desaparecer el oxígeno del río, cauce... desaparece la vida al mismo tiempo.

La DQO puede ser en suspensión o disuelta. La DQO en suspensión es la asociada a los sólidos en suspensión y grasas presentes en el agua y es la contaminación eliminada en un tratamiento físico-químico. La DQO disuelta es la asociada a la materia orgánica disuelta y no puede ser eliminada mediante un tratamiento físico-químico por lo que hay que recurrir a un tratamiento biológico o a técnicas de oxidación como permanganato, agua oxigenada u ozono, o a técnicas de separación mediante membranas.

El método usado para la determinación de la DQO es una digestión durante dos horas con dicromato potásico en un medio ácido y posterior lectura espectrofotométrica.

En aquellos casos en que la materia orgánica oxidable sea muy pequeña (<10-15 mg/l), tal y como ocurre en aguas potables, se puede utilizar un oxidante más débil y un método distinto para determinar la materia orgánica como es la oxidabilidad de permanganato.

- **DBO₅**

La DBO₅ son las siglas de “Demanda Biológica de oxígeno en cinco días”. Al igual que la DQO, es una medida de la cantidad de materia orgánica presente en el agua, pero en este caso solamente aquella que es biodegradable. La DBO₅, es una medida indirecta de dicha materia orgánica, ya que se mide a través de la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos presentes en el agua, después de un periodo de incubación de 5 días a 20 °C. La DBO₅ es menos empleada que la DQO, sobre todo porque en esos 5 días necesarios y también porque esta medida tiene ciertas limitaciones., sobre todo porque puede haber compuestos tóxicos que eviten el desarrollo de bacterias, y por tanto el consumo de agua. En ese caso hay contaminación por materia orgánica en el agua, sin embargo la DBO₅, puede ser muy baja. También se mide en mg/L.

La DBO₅ es menor que la DQO ya que sólo mide la materia orgánica biodegradable mientras que la DQO mide también aquella que no es biodegradable pero si es oxidable.

Sin embargo la medida de la DBO, es fundamental para el dimensionamiento de un tratamiento biológico ya que conociendo la relación DQO/DBO, se puede conocer el grado de biodegradabilidad de un agua. Si esta relación es menor de 2, es agua es muy biodegradable. Mientras este ratio vaya creciendo, el agua es menos susceptible de ser tratada por una depuración biológica (ya que hay una mayor proporción de materia orgánica no biodegradable). En depuración anaerobia no influye tanto, pues puede haber materia anaeróbicamente biodegradable y que no lo sea por vía aeróbica.

El método analítico consiste en una incubación en agua a distintas disoluciones en oscuridad a 20 °C durante 5 días. La materia orgánica biodegradable se determina en función al consumo de oxígeno experimentado durante esos 5 días.

La demanda de oxígeno se realiza fundamentalmente por los materiales carbonosos durante los 5-10 primeros días con una segunda fase de demanda realizada también por los materiales nitrogenados. La velocidad de nitrificación es mucho menor que la de la destrucción carbonosa, a pesar de que se dan simultáneamente. Sin embargo, la medida de la demanda de oxígeno se realiza de dos formas posibles, o bien provocando el retraso de la nitrificación mediante inhibidores de la nitrificación, o bien dejando que ocurra la nitrificación y restando el valor de su demanda del valor global, El valor así obtenido se denota como DBO_5 con inhibición a la nitrificación. El impacto de oxígeno requerido por los compuestos nitrogenados, puede tener un efecto en el medio receptor y debe ser tenido en cuenta en la evaluación ecológica global.

- **Carbón orgánico total (COT)**

Indica el contenido de carbón unido a la materia orgánica mediante la medida del CO_2 producido tras su oxidación completa. Aunque el carbono orgánico total es un parámetro que se ha aplicado durante muchos años, sólo el analizador de carbono ha provisto de un método para determinar los niveles de carbono orgánico rápido y simple en muestras acuosas, aumentando la popularidad del COT como medida fundamental de la polución. La determinación de carbono orgánico está libre de muchas variables inherentes a los análisis de DQO y DBO, de manera que proporciona datos más fiables y reproducibles como resultados globales.

Dado que el tiempo de análisis usando un analizador de carbón es de pocos minutos, el interés de usar este método es obvio, especialmente cuando se pueden hacer correlaciones entre COT-DQO o COT- DBO_5 .

- **SÓLIDOS**

El contenido en materias totales de un agua residual se determina mediante secado a 105 °C hasta la evaporación total del agua y pesada posterior. Al valor así obtenido se denomina “Sólidos totales (residuos seco), y comprende todos los sólidos, cualquiera que sea su composición y origen, presentes en un agua residual dada.

Los sólidos totales se subdividen a su vez en “sólidos en suspensión” y “sólidos disueltos”.

- **Sólidos en suspensión (SS o MES):** Son los que se eliminan mediante un tratamiento físico-químico. Se miden por filtrado de la muestra a través de 0,45 micras en mg/l. Los sólidos en suspensión pueden ser volátiles (**SSV**) si su naturaleza es fundamentalmente de tipo orgánico **o sólidos en suspensión fijos** si su naturaleza es inorgánica. Para determinar los SSV se realiza una calcinación a 550 °C, de manera que la pérdida de peso corresponde a dichos SSV, y el resto son sólidos en suspensión fijos. Mientras más sólidos en suspensión tengan un agua mayor cantidad de fangos producirá la depuradora, ya que los sólidos en suspensión van directamente a los fangos generados.

Para el caso de un reactor biológico, los sólidos en suspensión se denominan **MLSS**. (Sólidos en suspensión del licor de mezcla) y los sólidos en suspensión volátiles se denominan **MLSSV** (sólidos en suspensión volátiles del licor de mezcla). La relación entre MLSSV y MLSS nos da una idea de la proporción de los microorganismos frente a los sólidos en suspensión totales (microorganismos +inerte) en el licor mezcla. Generalmente los volátiles suelen ser un 75-80% de los sólidos en suspensión.

- **Sólidos disueltos:** Son aquellos que quedan en el agua después de la filtración anterior. Sólo pueden ser eliminados del agua mediante un tratamiento del tipo biológico, ya que son las bacterias encargadas de convertir estos sólidos disueltos en sólidos en suspensión que puedan ser separados del agua mediante un tratamiento físico (decantación o flotación) o físico químico. También pueden ser eliminados por técnicas de filtración avanzada como ósmosis inversa, nanofiltración y resinas iónicas.

- **Sólidos sedimentables:** Son un parámetro de diseño de decantadores primarios y desarenadores en depuración de aguas residuales industriales, que informa sobre el dimensionamiento necesario para conseguir, después de un tiempo estándar (generalmente 0 2 horas) que todas las materias que porta un agua residual y que pesan puedan ser retiradas de ésta y no requieran ser sometidas a depuración biológica. Se determina como ml/L de sólidos que sedimentan en un cono Imhoff tras una hora.

- **ACEITES Y GRASAS (A y G)**

Los aceites y grasas presentes en un agua residual suelen estar en suspensión o emulsionados con el vertido. Aquellos que están en suspensión son eliminables fácilmente mediante un desengrase en la depuradora. Los aceites que se separan más fácilmente son los minerales (aceites de máquinas, actualmente de color negro) que tienen una diferencia de densidad importante con el agua y se separan en cuestión de escasos minutos al formarse una capa en la superficie.

Los aceites y las grasas que están emulsionados (es decir, que están formando una mezcla íntima con el agua) son solamente eliminables mediante una aireación del vertido durante horas, un tratamiento físico químico recogiendo con los fangos, o también mediante un tratamiento biológico, si bien en este último no es conveniente que llegue con cantidad de aceites y grasa elevadas ya que los rendimientos disminuyen bastante por problemas sobre todo de transferencia de oxígeno y de toxicidad. Los aceites y grasas se miden también en mg/L o ppm.

La determinación de aceites y grasas se realiza mediante extracción con solventes y posterior pesada.

- **CONDUCTIVIDAD**

La conductividad es una medida de la cantidad de sales presentes en el agua. Se mide en microSiemens/cm.

La conductividad de un agua no se ve prácticamente afectada por los tratamientos físico-químicos o biológicos y solamente se puede reducir mediante un sistema de separación de membranas como Nanofiltración u ósmosis inversa mediante resinas de intercambio iónico.

La conductividad se mide por diferencia de potencial mediante un equipo portátil llamado conductivímetro.

- **METALES PESADOS**

Los metales pesados más importantes son el cadmio (Cd), cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Estaño (Sn), Aluminio (Al). Se miden en mg/l o ppm y se determinan mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Los metales pesados se encuentran principalmente en industria metalúrgica, fundiciones minería, industria automovilística, industria cerámica, industria de fabricación de plásticos, industria de tratamiento superficiales, fabricación de productos químicos, detergentes, refinerías manufacturas de madera, preservativos, pinturas, cosmética, farmacéutica, curtidos, fotográfica, textil, papel, imprentas, electrónica.

La influencia de los metales pesados en los procesos biológicos de depuración ha sido el objeto de muchas investigaciones dada su importancia. Los umbrales tóxicos para el Cu, Zn, Cd etc..., se han establecido en aproximadamente 1mg/l, aunque no se ha notado ningún efecto en la eficiencia del proceso para concentraciones mayores. Por ejemplo, no hay ningún efecto adverso en los procesos biológicos para concentraciones de Zinc superiores a 10 mg/l en el tratamiento de vertidos petroquímicos.

La mayoría de los metales pesados pueden ser precipitados como hidróxidos entre pH 7.5 y 11. Previo a la precipitación de los metales, en aquellos vertidos que tengan cromo y/o cianuros (normalmente en industrias que hacen tratamiento superficial de metales) es necesario someterlos a un tratamiento de reducción (cromo) y oxidación (cianuros).

-Cromo: Pueden ser Cr VI, que es muy tóxico y Cr III. El cromo VI hay que reducirlo previamente a Cr III, mediante una reacción de óxido-reducción a pH bajo (1.5-2) y un agente reductor como el bisulfito. Se produce entonces el cambio amarillo (Cr VI) a verde esmeralda (CrIII). El Cr III es precipitado como hidróxido de cromo a pH en el entorno de 8,

- Cianuros: El cianuro, muy tóxico, es oxidado a canato subiendo a OH por encima de 10.5 y simultáneamente dosificando un oxidante como el hipoclorito sódico hasta completar la reacción, durante aproximadamente 30 minutos. Posteriormente se baja a pH 8.5, desprendiéndose, anhídrido carbónico y nitrógeno.

- NITRÓGENO

Los compuestos de nitrógeno presentes en aguas pueden originar diferentes problemas tales como:

- Aumentar la demanda de oxígeno presentes en los cauces receptores (cada mg de N que se nitrifique requiere 4.6 mg de oxígeno),
- Producir efectos tóxicos en la vida acuática.
- Dificultar la producción de agua potable
- Ser responsable de la eutrofización del medio natural que implica la producción de algas y otras plantas acuáticas, degradación de la pesca, etc...

El nitrógeno se puede encontrar bajo las siguientes formas:

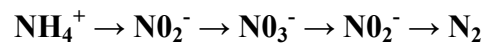
- 1) Nitrógeno orgánico
- 2) Nitrógeno amoniacal
- 3) Nitrógeno nitroso (relacionado con NO_2^-).
- 4) Nitrógeno nítrico (relacionado con NO_3^-).

A la suma de los dos primeros se le llama nitrógeno Kjeldhal total (NTK), La determinación del NTK se realiza mediante digestión en medio ácido para pasar todo el nitrógeno orgánico a NH_4^+ y valoración posterior, expresando el resultado en mgN/L. El Nitrógeno amoniacal es siempre predominante sobre el orgánico (urea y aminoácidos) y es muy normal que en la propia red de alcantarillado este último se transforme en amoniacal, mediante un proceso llamado de **amonificación**.

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa como amoniaco (NH_3), gas, o ión amonio (NH_4^+), estando la reacción en equilibrio. A pH superiores a 7 el equilibrio se desplaza hasta el amoniaco, siendo el ión amonio predominante a valores de pH menores de 7. El nitrógeno amoniacal por oxidación bacteriana en medio aerobio pasa a nitrito y ésta a nitrato (proceso de nitrificación).

La medición del contenido de nitrógeno en sus distintas fases es importante a la hora de dimensionar un proceso biológico ya que el nitrógeno amoniacal consume mucho oxígeno en su proceso de oxidación a nitritos y nitratos. Así mismo una presencia de nitratos puede provocar una desnitrificación (paso de nitratos a nitritos y éstos a nitrógeno amoniacal en ausencia de oxígeno en las llamadas cámaras

anóxicas) en los decantadores secundarios , con desprendimiento de nitrógeno gas que provoca una flotación indeseada de fangos que se escapan con el efluente, reduciendo por tanto los rendimientos de depuración. Los distintos estados de oxidación se detallan a continuación:



Nitrificación - Desnitrificación

El nitrógeno es un nutriente para las bacterias y su carencia provoca un crecimiento insuficiente en un tratamiento biológico, por lo que a menudo es necesario también su determinación a efectos de ver si es necesario dosificar o no nutrientes para un tratamiento biológico.

En aguas potables, las elevadas concentraciones de NO_3^- pueden ser perjudiciales para la salud y muy especialmente en niños pequeños. El origen de estas elevadas concentraciones de NO_3^- en aguas potables es debido al uso de fertilizantes en zonas cercanas a los acuíferos.

Los principales sistemas de eliminación de nitrógeno son un tratamiento físico-químico (arrastre con aire-stripping, columnas de intercambio iónico o cloración al breakpoint), o una eliminación por vía biológica (nitrificación-desnitrificación).

- TURBIDEZ

La turbidez de un agua está causada por la presencia de materiales diversos en suspensión, arcilla, limos coloides, orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos. Estas partículas suelen tener dimensiones coloidales (alrededor de 10mm) hasta diámetros del orden de 0.1 mm. Pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas humínicas (provenientes de la descomposición de restos vegetales partículas filamentosas (por ejemplo restos de amiantos). A su vez las partículas minerales se dividen en función de su tamaño en arcillas limos y arenas.

La turbidez se realiza con espectrofotómetro y se mide en UNF.

- CLORUROS

Este valor sirve para determinar el grado de salinidad de un efluente mg/L. El incremento de salinidad de las aguas puede inhibir la acción de los microorganismos en las depuradoras.

4.1 TOMA DE MEDIDAS DEL AGUA Y OBTENCIÓN DE VALORES DE PARÁMETROS DE CONTAMINACION

Los parámetros pH y CE (conductividad eléctrica) se pueden medir en continuo instalando sondas en los puntos donde se quiera caracterizar el vertido. Existen publicaciones normalizadas de acuerdo a los estándares UNE relacionados con la instrumentación de medida en continuo de estos dos parámetros, en concreto:

- UNE 77078:2002 Especificaciones técnicas de carácter general para los instrumentos de medida en continuo de pH en vertidos industriales
- UNE 77079:2002 Especificaciones técnicas de carácter general para los instrumentos de medida en continuo de conductividad en vertidos industriales

El resto de parámetros se suele controlar en discontinuo, tomando una muestra de agua representativa y analizándola posteriormente *in situ* mediante un kit adecuado o en laboratorio.

El análisis de los vertidos los realiza normalmente un laboratorio colaborador de los organismos de cuenca en materia de control de vertido, o en cualquier caso, un laboratorio homologado o designado por la Administración competente, que debería cumplir con los requisitos de la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2000, relativa a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

La frecuencia con la que se realicen los análisis vendrá especificada en la autorización ambiental integrada, junto con la indicación de los sistemas y procedimientos de control, así como la especificación de la metodología de medición y los procedimientos de evaluación de las mediciones.

Las Normas UNE están en muchos casos relacionadas con los “*Standard Methods*” por la gran semejanza existente entre algunos métodos analíticos.

5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS PROCEDENTES DE LOS MATADEROS: ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y COMPOSICIÓN

Es la industria básica de todas las cárnica, y sin duda la más contaminante por el volumen de efluente, su carga de materia orgánica y sus efectos sobre el medio ambiente dentro de este sector.

Entre los aspectos medioambientales más significativos del sector de mataderos está el de la contaminación de aguas, tanto por los volúmenes generados como por las cargas contaminantes asociada a la misma. Los productos contenidos en los vertidos son del tipo no metálico y su composición principal la constituyen amoniacos, aceites y grasas, siendo el sangrado y escalado los puntos críticos desde el punto de vista de carga contaminante.

La realización de este proyecto se centra en la eliminación de la carga contaminante presente en el agua a la salida del matadero.

El sangrado vierte en el agua una elevada cantidad de carga orgánica, el escalado libera una gran cantidad de grasas y proteínas al agua y, la tripería (el corte de estómagos e intestinos) tiene una elevada carga contaminante.

5.1 CONSUMO DE AGUA

Durante los procesos que tienen lugar en un matadero, se consume una elevada cantidad de agua, tanto para la realización de las distintas actividades como para el mantenimiento de condiciones higiénicas.

El consumo de agua puede ser muy variable de una planta a otra dependiendo de diversos factores como puede ser el tamaño de la planta, la antigüedad de la misma u el grado de automatización por ejemplo.

La generación de esta agua puede variar durante el día, suponiendo que al final de la jornada se puede producir un aumento del vertido como consecuencia de las operaciones de lavado.

Las operaciones de sangrado y lavado son las operaciones que producen una mayor cantidad de vertido a la estación. El resto de operaciones que tienen lugar en el recinto producen unas cantidades más homogéneo

La guía de mejores Técnicas Disponibles del Sector Cárnico en España, en adelante “*guía MTD*” nos proporciona un rango de consumos de agua por tonelada de canal. Dicho valor incluye el volumen total del agua de cualquier procedencia, es decir la que se emplea en la zona del matadero como la utilizada en operaciones auxiliares.

1-6,4 m³/total (Valor promedio 3,4m³/Tonelada Canal)

El consumo de agua por animal sacrificado según la bibliografía es muy variable. Otras fuentes indican que para la consecución de los procesos llevados a cabo en un matadero supone un consumo aproximado **de 5 litros por kilo de peso vivo.**

Como valores indicativos del consumo y distribución de consumo de agua en mataderos de otras fuentes deben destacarse los datos de la siguiente tabla:

Consumos medio de agua (l/pieza)	
Vacuno	500-1000
Porcino	250-500
Aves	8

Tabla 5.1 Consumos de agua en mataderos polivalentes. Fuente: Prevención de la contaminación en la industria cárnica en la región mediterránea

5.2 GENERACIÓN AGUA RESIDUAL DURANTE LA ETAPAS DE FAENADO

Las aguas residuales de los mataderos constituyen un importante problema, existiendo numerosos puntos en el proceso de sacrificio como focos importantes de contaminación. Por un lado todos los lavados que se realizan a lo largo de la cadena productiva, desde la ducha de los animales hasta el lavado de las partes comestibles acabadas (canales y despojos), el sangrado de los animales va a verter al agua una elevada carga orgánica, el escalado aporta una gran cantidad de grasas y proteínas que están disueltas en el agua, la tripería constituye un foco importante de contaminación proveniente sobre todo de la limpieza de estómagos e intestinos. A continuación se van a analizar las aguas residuales generadas en cada una de las etapas de un proceso de sacrificio.

- *Recepción de animales y lavado camiones:* En esta etapa las aguas residuales contienen principalmente restos de productos de limpieza con restos orgánicos procedentes de la orina y deyecciones de los animales.
- *Estabulación:* Durante la estabulación los animales van a orinar y defecar, confiriéndole el agua residual de esta sección un alto contenido en compuestos nitrogenados. Se estima un consumo de agua entre 5 y 15 litros/m² para la limpieza de los establos.
- *Aturdido:* Debido a las características de esta operación el animal va a producir una gran cantidad de orina, que conlleva una contaminación del agua con compuestos nitrogenados.
- *Sangrado:* A pesar de que se disponga de métodos de recogida de sangre, siempre habrá pérdidas por goteo, que van a conferirle al agua una alta carga en materia orgánica. La sangre cruda del animal tiene una DBO₅ de 200.000mg/l. La eliminación de sangre del efluente general es, por tanto, la medida correctora más importante para disminuir la contaminación de las aguas residuales de los mataderos.
- *Escaldado (porcino):* Las aguas residuales que se originan incluyen, grasas, sólidos en suspensión, proteínas, sangre excrementos y otros compuestos orgánicos.
- *Depilado (porcino):* Las aguas residuales provienen del agua caliente que se emplea en la máquina depiladora. Esta agua lleva restos de pelos, incrementando por tanto la cantidad de materia orgánica.
- *Escalado y desplumado (aves):* Las aguas residuales de esta operación incluyen grasas, sólidos en suspensión (restos de plumas), proteínas, sangre, excrementos y otros compuestos orgánicos.
- *Chamuscado (porcino):* En esta operación se van a generar aguas residuales con elevada carga orgánica (restos de pelos, escamas de la piel etc.)
- *Eviscerado y lavado:* Las aguas residuales proceden del lavado de los canales, arrastrando una elevada carga orgánica.
- *Triperías:* Las aguas residuales proceden del lavado de estómagos e intestinos, arrastrando una gran cantidad de materia orgánica (restos del contenido digestivo, etc....) y grasas procedentes del raspado de la tripa al eliminar la capa de mucosa y serosa propia de los intestinos así como del desangrado de los estómagos. El agua del lavado de tripas posee una DBO₅ de 80.000mg/l.

- *Lavado*: Las aguas residuales de esta operación son las más abundantes, y contienen sustancias orgánicas y grasas así como restos de agentes detergentes y desinfectantes. El consumo estimado de agua para la limpieza de los locales de faenado es de 5 litros/m² y día.

5.3 PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN CARACTERÍSTICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS MATADEROS.

El aspecto ambiental más significativo de la actividad de mataderos es la generación de aguas residuales tanto por los elevados volúmenes generados como por la carga contaminante asociada a ella. Los parámetros ambientales más significativos que se relacionan con las aguas residuales son: los sólidos en suspensión (SS o MES), la carga orgánica expresada como demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno a los cinco días (DBO₅), los aceites y grasas (A y G), el nitrógeno y fósforo totales (NT y PT), las sales, así como los detergentes y desinfectantes. En cuanto a la cantidad de agua residual generada en los mataderos, entre el 80 y el 95 % del agua total consumida forma parte del efluente final. De los parámetros definidos en la caracterización de las aguas residuales de los mataderos, se identifican como principales fuentes de origen las que se muestran en la siguiente tabla:

PARAMETRO	FUENTE DE CONTAMINACIÓN
Materia orgánica (DQO, COT)	Sangre, aguas de escaldado, purín/estiércol, contenidos
Sólidos en suspensión	Purín/estiércol, contenidos estomacales, pelos y restos de carne
Aceites y grasas	Aguas de escaldado y lavado de canales.
Amonio y urea	Purín/estiércol y sangre.
Fosfatos, nitrógeno y sales	Purín/estiércol, contenidos estomacales, sangre, productos detergentes y desinfectantes
Detergentes y desinfectantes	Productos detergentes y desinfectantes.
Conductividad eléctrica	Perdida de Sal procedente del salado de pieles de Vacuno.

Tabla 5.2 Principales Parámetros y fuentes de Contaminación Aguas residuales de los Mataderos.

5.4 COMPOSICIÓN DE LOS AFLUENTES DE MATADERO

Como se ha mencionado anteriormente, las aguas residuales de los mataderos se caracterizan por altos niveles de materia orgánica, grasas, nitrógeno fósforo y sales. Los efluentes de matadero pueden contener restos de materias primas (sangre, grasas, huesos, pelos, fragmentos de piel tejido muscular) contenido intestinal y excrementos. Las aguas de limpieza pueden contener cantidades importantes de detergentes y desinfectante.

La composición típica de las aguas residuales procedentes de los mataderos se muestra en la siguiente tabla, en la que se presentan los intervalos en los que suelen encontrarse los valores de los parámetros de contaminación más significativos de esta agua.

Características de las aguas residuales antes de depuración en mataderos

PARÁMETRO DE CONTAMINACIÓN	VALOR TÍPICO
D.Q.O. (mg O ₂ /L)	4200-8500
DBO₅ (mg O ₂ /L)	1600-3000
Sólidos en Suspensión-SS (mg/L)	1300-3400
Aceites y Grasas-AyG (mg/L)	100-200
Nitrógeno total-NT (mg N/L)	50-110
Fósforo Total-PT (mg P/L)	20-30
Alcalinidad	350-500

Tabla 5.3 : Valores típicos de los parámetros de contaminación de aguas residuales mataderos.
Fuente: Revista EUROCARNE nº87

Otros autores consideran otros valores, existe una amplia bibliografía con una gran disparidad de datos. Atendiendo a la fuente consultada los valores de referencia pueden sufrir variaciones. Establecer un rango concreto dado la heterogeneidad de las

instalaciones es complejo. En una misma industria puede variar la emisión de carga contaminante de hora en hora. A continuación se anexan valores típicos extraídos de otras fuentes de referencia.

MATADERO PORCINO			
CONTAMINANTE	Agua Vertido l/t canal	Emisión Kg/t Canal	Factor Emisión mg/l
DQO	1667-6000	3,22-10	536-6000
N _{TOTAL}		0,18-2,1	30-1260
P _{TOTAL}		0,02-0,23	3,3-138
MATADERO VACUNO			
CONTAMINANTE	Agua Vertido l/t canal	Emisión kg/t Canal	Factor Emisión mg/l
DQO	4000-8000	4,0-40	500-10000
N _{TOTAL}		0,172-1,84	21,5-460
P _{TOTAL}		0,025-0,26	3,12-65

Tabla 5.4 Recogida del BREF, documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas disponibles para los mataderos y las industrias de tratamiento de residuos animales

CONTAMINANTE	Máx.	Mín.	Promedio
DQO (mg O₂/l)	35000	774	10259
DBO	5350	500	2550
SS (mg/l)	5000	220	2102
AyG (mg/l)	1200	23	474
NT (mg N/l)	750	48	252
PT (mg P/l)	90	10	40
Cl (mg Cl/l)	1000	649	825
pH	8	6	7

A la vista de los datos reflejados, cabe destacar que la concentración de materia orgánica es relativamente alta, del orden de cinco veces la de aguas residuales urbanas, pero notablemente menor que la de otros sectores de la industria alimentaria.

Es especialmente significativo que entre el 40 y 50% de la materia orgánica se encuentra en suspensión siendo lentamente biodegradable, a diferencia de lo que ocurre en las aguas residuales domésticas en las que la mayor parte se encuentra en forma coloidal.

Así mismo destaca el contenido de grasas y aceites es claramente inferior a la de otros vertidos de la industria agroalimentaria, como por ejemplo las aguas de elaboración de precocinados. Sin embargo, los aceites y grasas de esta agua pueden resultar difíciles de separar, al encontrarse emulsionadas por efecto de la temperatura.

Ante sistemas de tratamiento biológicos, una concentración excesiva de grasas puede recubrir la superficie de la biomasa, impidiendo la transferencia de oxígeno el desprendimiento de productos gaseosos y empeorando la sedimentabilidad de los flóculos bacterianos.

5.5 BIODEGRADABILIDAD

En cuanto a la biodegradabilidad de las aguas residuales (ver relación en la tabla siguiente), con los datos de la tabla de características de las aguas residuales de mataderos, se obtiene un alto valor de biodegradabilidad, las aguas residuales de mataderos son por lo general bastante biodegradables.

RELACIÓN DBO/DQO	BIODEGRADABILIDAD
Si $DBO/DQO < 0,2$	Poco Biodegradable
Si $0,2 < DBO/DQO < 0,4$	Biodegradable
Si $DBO/DQO > 0,4$	Muy Biodegradable

Tabla 5.5 Grado de biodegradación según la relación entre la DBO5 y la DQO (Metcalf & Eddy, 2003)

5.6 ACCIONES DE MEJORA A TENER EN CUENTA EN EL SECTOR MATADEROS

Sobre las nuevas tendencias en depuración de aguas residuales de la industria cárnica, se destaca la posibilidad de ir más allá de las simples mejores técnicas siendo necesario un cambio de mentalidad por parte de los industriales que deberían integrar la problemática de la depuración de aguas residuales como otro proceso más dentro del ciclo productivo, y potenciar más aquellas prácticas que permitan reducir los vertidos generados. Así mismo es muy recomendable una previsión a medio y largo plazo de las necesidades y requerimientos legislativos.

En lo referente a las soluciones técnicas se abandona la creencia de la existencia de una solución óptima general, siendo necesario elegir y adaptar el sistema más adecuado para cada situación.

Cabe destacar la importancia de la estabilidad de procesos, que no se vean cargados por la presencia de grasas y que sean resistentes a las fluctuaciones de carga.

Las industrias agroalimentarias deben reducir sus consumos de agua aprovechándolos mejor. En los mataderos reduciendo la carga contaminante vertida: recuperando la sangre (la sangre aporta la mayor parte de la carga contaminante que lleva el agua residual), eliminando contenidos de panzas y estómagos mediante cribado previo o en seco (cuanto mayor sea el proceso de tripería mayor será el consumo de agua en el matadero), realizar la fundición de grasas por vía seca o húmeda con evaporación, limpiar en seco las dependencias previamente a la limpieza con agua a alta presión, son prácticas que deberían implantarse.

Toda medida encaminada a disminuir de carga contaminante, supone una disminución del tamaño de tratamiento biológico y por tanto una reducción importante de la inversión a realizar en la depuradora, pues el tratamiento biológico supone más de tres cuartas partes del coste total de la depuradora.

A modo de conclusión diremos que la industria cárnica o agroalimentaria en general, deberá considerar la depuración de sus aguas residuales como un coste más de su inversión y explotación, pues cada vez será mayor el control y las sanciones impuestas por la administración española y comunitaria. En el punto 12 se detallarán algunas medidas concretas a realizar con el objetivo de reducir la carga contaminante.

6. DESCRIPCIÓN ETAPAS TÍPICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTE DE LOS MATADEROS

El tratamiento de las aguas residuales que se lleva a cabo en los mataderos tiene como objetivo poder verter las aguas sin dañar el medioambiente, cumpliendo además de esta forma con las obligaciones legales, todo ello con un gasto razonable. Los procesos de eliminación de la carga contaminante pueden variar considerablemente de una instalación a otra. Dependiendo de muchos factores, como pueden ser el destino final al que se viertan, tamaño de la instalación de la superficie disponible... existen diversas configuraciones posibles.

El vertido de las aguas residuales en cauces públicos es mucho más exigente y en consecuencia más costoso que el vertido en el alcantarillado público para el tratamiento de los efluentes en una depuradora municipal, aunque el municipio al que se vierta suela cobrar una tasa y exija unas determinadas condiciones estableciendo también unas cantidades máximas de contaminación.

Los límites de vertido en el alcantarillado público vienen determinados por los gestores de la red. En el caso de este proyecto el vertido de las aguas va a tener destino alcantarillado sito en el término municipal de Madrid.

En las aguas residuales de mataderos e industrias cárnica pueden aplicarse tratamientos primarios, secundarios y terciarios, siendo lo normal que estos últimos no se encuentren dentro del proceso depurativo.

A continuación se indican los tratamientos habituales presentes en el tratamiento de efluentes de mataderos:

Línea de Aguas

- Pretratamiento:
 - Desbaste.
 - Tamizado.
- Tratamientos Primario:
 - Eliminación de grasas.

- Homogeneización.
- Neutralización.
- Tratamiento Secundario Biológico
- Eliminación de Nutrientes

Línea de Fangos

- Tratamiento de Fangos

A continuación se describen de manera teórica cada una de estas etapas. Indicando las alternativas más comunes empleadas en cada una de ellas en el sector de la industria alimentaria.

I. LINEA DE AGUAS

6.1 PRETRATAMIENTO

Antes de proceder al tratamiento de aguas residuales, propiamente dicho, éstas son sometidas generalmente a un pretratamiento que comprende un cierto número de operaciones, físicas o mecánicas, que tienen por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de las materias que, por su naturaleza o tamaño, crearían problemas en los tratamientos posteriores.

Según el Reglamento CE N° 808/2003 el equipo utilizado en el pretratamiento de las aguas residuales de matadero dispondrá de sifones de drenaje en las alcantarillas de desagüe o una criba con mallas no superiores a 6mm a su salida, o sistemas equivalentes que garanticen que las partes sólidas de las aguas residuales que pasen a través de ellos no sean superiores a 6mm.

- POZO DE GRUESOS

El pozo de gruesos es una balsa de planta cuadrada con tiempo de residencia corto, para evitar la sedimentación de la materia orgánica y sólidos pequeños.

La misión del pozo de gruesos es múltiple entre ellas podemos distinguir:

- Eliminar de la corriente los sólidos de gran tamaño que originan problemas incluso en las rejillas de gruesos.

- Eliminar grandes cantidades de sólidos que ocasionalmente puedan llegar y sobrecargar las rejillas.
- Eliminar grandes cantidades de arena que puedan crear problemas en las rejillas o sobrecargar el desarenador.
- Eliminar arenas gruesas que puedan depositarse en los canales y tuberías.

El sistema de extracción de los residuos almacenados en el pozo de gruesos es generalmente cuchara bivalva, debido a que cualquier otro sistema presenta problemas de atascamiento de tipo mecánico.

Hay dos tipos de cuchara bivalva, las accionadas por cables y las accionadas hidráulicamente.

El movimiento de la cuchara por encima del pozo puede hacerse por un monorraíl cuando el pozo no es muy ancho, o bien por un puente móvil para pozos más anchos que la cuchara.

El material más empleado para la construcción es el hormigón armado para la cuba o balsa del pozo con chapas de 10 o más milímetros de espesor cubriendo el fondo, con el fin de evitar que sea dañado por la cuchara de recogida de residuos. Dicha chapa al igual que la rejilla de salida puede ser de acero al carbono dado que no está justificado el empleo de materiales más resistentes a la corrosión.

DESBASTE

El primer paso en la depuración del agua residual ha de consistir en una eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las máquinas equipos e instalaciones de la estación depuradora. El desbaste tiene por objeto:

- Proteger a la estación de la posible llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación.
- Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos.

El desbaste se realiza por medio de rejillas (rejillas, mallas, o cribas) Las rejillas pueden ser manuales y automáticas, y dentro de estas últimas pueden ser de funcionamiento

circular o vertical. Tienen como objeto retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión, que arrastra consigo el agua residual.

Con ello se consigue:

- Eludir posteriores depósitos
- Evitar obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general.
- Interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores.
- Aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.

La elección del tipo de rejillas a colocar es una de las principales decisiones a tomar en el diseño de toda depuradora.

Por razones de mantenimiento y explotación es recomendable evitar la colocación de rejillas de limpieza manual. El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado con intervalo de tiempo fijo o con intervalo de tiempo modificado con arreglo al grado de obstrucción de la rejilla. Se recomienda no obstante la colocación de una rejilla de seguridad manual (separación entre barrotes 100mm) para que, en caso de fallo del sistema de limpieza automática de rejilla, no se produzcan inundaciones.

Aunque no existe un criterio único para la delimitación de los tipos de rejillas finas medias o gruesas, se puede considerar como rejillas finas aquéllas en que la separación libre de aberturas es inferior a 1,5cm. La distancia entre barras, en las llamadas rejillas de separación media oscila entre 1,5 y 5,0 cm. Son las más empleadas en la actualidad puesto que retienen la mayor parte de las sustancias arrastradas que no pueden eliminarse por sedimentación.

Para el desbaste grueso del efluente se emplean rejillas de abertura entre **5,0 y 10 cm** cuya limpieza se suele realizar manualmente. Se colocan en la llegada del colector a la estación depuradora sirviendo como pretratamiento respecto a la rejilla media colocada a continuación.

El parámetro de control fundamental en la comprobación de rejillas es la velocidad de paso del agua entre los barrotes.

Destino de los residuos retenidos en las rejillas puede ser:

- Incorporación al sistema público de recogida de basuras (sólo en pequeñas instalaciones).
- Enterramiento: Sólo en pequeñas instalaciones. Zanjas de 1m de profundidad. Capas de residuos de 20cm de espesor. Mineralización en 5años.
- Incineración. Secado previo, problemas importantes.

Calculado el ancho de canal de entrada a la planta en función de caudal de diseño, para evitar un aumento de la velocidad de paso como consecuencia de la colocación de unas rejillas (con la consecuente reducción de la sección de paso) será necesario establecer un sobredimensionado, en la anchura del canal en el punto de colocación de las rejillas.

El destino final de los residuos en *las rejillas manuales* y las basuras retenidas y retiradas mediante un rastrillo, se depositan generalmente sobre un pequeño contenedor colocado sobre el canal, con perforaciones en el fondo para su escurrido.

En las *rejillas automáticas*, las basuras retiradas por los peines mecánicos, caen directamente sobre una cinta transportadora, que las envía a los contenedores para su evacuación de la planta.

Los contenedores normalmente utilizados son los normalizados municipales con el fin de que puedan ser evacuados por los vehículos de recogida de basura y transportados a vertedero.

Una variante es el prensado o compactado del residuo antes de su evacuación de la depuradora, con el fin de reducir su volumen así como conseguir su escurrido.

En plantas pequeñas donde los residuos no son eliminados por los servicios municipales, una solución es su eliminación como relleno del terreno mediante enterramiento, siendo preciso en este caso su recubrimiento por una capa de tierra compactada de espesor superior a 20-30 cm. con el fin de evitar malos olores, proliferación de roedores, moscas, etc.

Es muy importante que los residuos procedentes del desbaste sean evacuados de la estación depuradora diariamente, sobre todo en verano, para evitar su descomposición y en consecuencia la generación de malos olores en las instalaciones.

Cantidad de residuos generados en el desbaste

La cantidad de basura eliminada en el proceso de desbaste de una planta depuradora vendrá determinada entre otros por los siguientes factores:

- Tipo de red de colectores existente.

Las redes de colectores en una ciudad pueden ser: unitarias, si recogen el agua pluvial y las aguas residuales en una sola red; separativa, si están ambas redes separadas o mixta si se dan en parte. En general lo más común debido a la antigüedad de los sistemas colectores de las ciudades es que sean unitarias.

En las redes de colectores unitarias, el volumen de basuras retiradas es considerablemente superior a las redes separativas.

- Tipo de área servida.

Luz de paso del agua a través del equipo utilizado, siendo la cantidad retirada mayor, a medida que disminuye la luz de la unidad.

Cuando la red de colectores es de tipo unitaria, la cantidad de residuos aumenta considerablemente en los momentos de tormentas o fuertes aguaceros, debido a los arrastres que estas ocasionan.

Las cantidades de basuras retiradas en las rejillas de las plantas depuradoras

- **TAMIZADO**

Los tamices tienen una capacidad de eliminación de residuos más elevada que las Rejillas debido a que la luz es muy inferior a estas, siendo la capacidad de retención mucho más importante que en aquellas. Los tamices, de la misma forma que las rejillas, basan su capacidad de retención de sólidos en el tamaño del sólido a retener, de tal forma que quedarán retenidos aquellos cuyas dimensiones sean superiores a la luz del tamiz.

No se suelen emplear en plantas con caudales elevados por su coste elevado respecto a las rejillas, elevada pérdida de carga así como un bajo caudal de tratamiento, lo que lleva consigo la utilización de numerosas unidades.

Sin embargo, el empleo de tamices es muy aconsejable en el tratamiento de determinadas aguas industriales como los mataderos, y en general en aquellas aguas industriales con alto contenido en sólidos en suspensión de tamaño de partícula próxima a 1mm o superiores.

Por tanto para el tratamiento a realizar en el tratamiento de depuración de este proyecto se ha considerado necesario la instalación de un tamiz.

TIPOS DE TAMICES

Los tamices pueden ser:

- *De disco o tambor*, no utilizados en tratamientos de aguas en la actualidad.
- *Estáticos de superficie curva*, denominadas en muchas ocasiones microtamices.
- *Dinámicos o rotativos* con sistema de limpieza automática.
- *De superficie móvil*.
- *TAMICES ESTÁTICOS*

Los microtamices o tamices estáticos no tienen ninguna parte móvil y por la geometría de colocación de la malla, son autolimpiantes.

La luz de paso de la malla de estos equipos varía generalmente entre 0,5 y 2,0 mm y unas superficies filtrantes con anchuras que varían desde 0,3 hasta 1,8 m, con una capacidad de tratamiento entre 400 y 1.200 l/m²*min, dependiendo de la luz y del tipo de sólido a eliminar.

El agua residual a tratar se introduce en un compartimento posterior del equipo, que por rebose se desliza a través de la superficie filtrante donde tiene lugar la tamización o separación de los sólidos.

El núcleo fundamental de la unidad es el conjunto de barras o hilos del tamiz. La disposición de los alambres transversales con curvas sinusoidales en el sentido del flujo proporciona una superficie relativamente poco atascable con alto poder de filtrabilidad.

La gran ventaja de este tipo de tamices es:

- Mantenimiento mínimo.

- No tienen consumo energético
- En los tamices estáticos no es preciso el empleo de una unidad de reserva, debido a la ausencia de averías al no disponer de partes móviles.

Otras características de este tipo de tamices son:

- Habitualmente se montan sobre una estructura de tal forma que los residuos separados caigan directamente al contenedor.
- Debido a la elevada pérdida de carga y a la forma de operación, generalmente el agua llega por bombeo, lo que supone la necesidad de una reja previa antes de las bombas.
- Debe disponerse de un acceso fácil para evacuación de los contenedores de acumulación de basuras.
- Es importante incorporar una conexión para agua, en las proximidades, para limpieza de la superficie filtrante.
- En los tamices dinámicos se ha de tener un control periódico del ajuste y desgaste de la cuchilla de limpieza.

• *TAMIZ ROTATIVO*

Tiene la ventaja que los residuos se eliminan sin posibilidad de colmatación. La separación sólido-líquido se efectúa en un proceso continuo, esta característica hace que el tamizado de este tipo sea aconsejable en industrias alimentarias, especialmente en aquellas con grandes contenidos de grasas dando solución a muchos de los problemas que se suelen presentar en el agua a depurar presente en estas instalaciones.

Los tamices están disponibles en varios tamaños con diámetros y longitudes variables:

Atendiendo a los datos facilitados por el fabricante GEDAR. El diámetro del tambor puede oscilar entre los 0,27 metros y los 0,6 y la Luz de paso de malla entre los 0,15 y 3 mm

En cuanto a la dirección del flujo a través de la malla el agua residual puede entrar por un extremo del tambor y salir del mismo a través de una malla filtrante, o entrar por

la parte superior del elemento saliendo por el interior del tambor produciéndose la recogida de los sólidos en la superficie exterior del tamiz.

El líquido a filtrar entra en el tamiz rotatorio por la tubería de entrada y se distribuye uniformemente a lo largo de todo el cilindro filtrante que gira a baja velocidad. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del mismo y son conducidas hacia una rasqueta, que es la encargada de separarlas y depositarlas sobre una bandeja inclinada para su caída por gravedad. El líquido que pasa a través de las rendijas del cilindro filtrante del tamiz rotativo es conducido hacia la salida que puede estar en la parte inferior o posterior del cuerpo. Cuando se trabaja con líquidos difíciles, muy cargados o con muchas fibras se utilizan accesorios especiales que se acoplan al tamiz rotativo.

ELEMENTOS QUE COMPONEN UN TAMIZ ROTATIVO:

- TAMBOR FILTRANTE: Construido en acero inoxidable
- BASTIDOR: Recinto construido con chapa metálica. En él se aloja tambor filtrante.
- SISTEMA DE LIMPIEZA: Boquillas situadas en el interior del tambor que efectúan limpieza de malla mediante agua a presión, desplazando residuos pegados al exterior.
- CILINDRO FILTRANTE: Es el componente principal del equipo, constituyendo el tamizado del flujo. El cilindro está formado por una malla de ranura continua, formando un arrollamiento helicoidal, con perfiles de sección triangular electro soldados en cada punto de contacto con las varillas soporte.

La distancia existente entre los perfiles triangulares determina la luz de paso, la precisión de las aberturas de la ranura limita con exactitud el tamaño de las partículas que serán admitidas a través de la superficie filtrante.

La peculiar forma constructiva de este tipo de tambores nos proporcionan unas notables ventajas, disminuyendo las posibilidades de obstrucción y colmatación, superficies de gran área abierta permitiendo grandes flujos y reducidas pérdidas de carga, robustez estructural, diseñadas para resistir la corrosión, temperatura, presión y carga.

Nos encontramos con gran variedad de pasos de luz para cualquier aplicación, los mas estandarizados serian de 0.15, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5 mm.

Los materiales de construcción más comunes son los aceros inoxidable, acero inoxidable aisi-304, acero inoxidable aisi-316 y acero inoxidable aisi-316L.

- CUERPO: Nos encontramos con una estructura en acero inoxidable en varias calidades, según aplicaciones, y está formado por una o varias entradas de flujo, y una salida, optando por un aliviadero.

El cajón de distribución es el encargado de repartir el flujo homogéneamente a través de todo el cilindro filtrante.

Los laterales portantes, son los encargados de cerrar el equipo y hacer de portantes del tambor. El depósito receptor es el encargado de recoger el líquido filtrado y embocarlo hacia la brida de salida.

Por otro lado nos encontramos con la bandeja de descarga que es la encargada de recoger las partículas sólidas previamente separadas del tambor mediante el rascador que son evacuadas hacia el próximo proceso.

- RASCADOR: Es el encargado de limpiar las partículas depositadas sobre la superficie del tambor, asegurando la correcta limpieza del perímetro del cilindro filtrante, que seguidamente es conducida a la bandeja de descarga.

El material estándar es el latón por ser un material blando y de fácil adaptación a la superficie cilíndrica, este actúa por medio de unos resortes regulables en presión los cuales nos proporciona una presión constante en todo momento.

- RASQUETA TRASERA: Tiene una doble función de limpiar el tambor en su parte trasera y la de impedir el paso de flujo no filtrado, está construida normalmente en latón al igual que el rascador.
- GRUPO ACCIONAMIENTO: Compuesto por un grupo motorreductor con unas determinadas revoluciones según diámetro de tambor potencia adecuada, preparados para un funcionamiento en continuo.
- SISTEMAS DE LIMPIEZA: Estos equipos van provistos de varios sistemas de limpieza, ya que nos encontramos con gran variedad de aplicaciones y mezclas

de sólido-líquido de diferente naturaleza, aparte de los sistemas de rasquetas estándar que todos los equipos montan nos podemos encontrar otros sistemas de limpieza opcionales.

- DOBLE RASQUETA: La doble rasqueta es simplemente otro rascador de las mismas características que ya hablamos anteriormente, esta va montada en la parte superior de la rasqueta existente, efectuando la misma función proporcionando una doble limpieza de cilindro filtrante.
- LIMPIEZA INTERNA: Constituida por una rampa de inyectores los cuales inyectan un chorro de agua limpia a presión sobre la superficie de tambor en su parte interna para limpiar posibles residuos de partículas, mejorando la capacidad de filtración.
- CEPILLO DINAMICO: Este sistema de limpieza está constituido por un cepillo helicoidal de celdas poliméricas de una determinada dureza el cual con un movimiento rotacional en sentido opuesto al giro del tambor va eliminando las partículas tanto superficiales como las existentes entre los perfiles, mejorando en gran proporción la limpieza del conjunto. Tal conjunto va accionado mediante un motorreductor el cual le proporciona el movimiento.
- RAMPA DE LIMPIEZA EXTERIOR: Sistema de similares características a la limpieza interna constituido por una rampa de inyectores que actúan directamente sobre la superficie del tambor en todo su perímetro externo, este va colocado en la parte inferior del rascador y se encarga de efectuar una limpieza más profunda del tambor después de hacer la tarea del rascado.

Para la industria agroalimentaria el paso recomendado es inferior a 1mm

Para facilitar el posterior transporte a vertidos, los residuos se hacen compactar mediante el uso de prensa mecánica.

En el caso de tamices (estáticos o dinámicos), como ya se ha indicado, estos se montan habitualmente sobre una estructura metálica, de tal forma que los sólidos eliminados caen directamente al contenedor.

Las basuras eliminadas en el pretratamiento de una planta depuradora, generalmente son retiradas por los servicios municipales de basuras, recibiendo el mismo tratamiento

que los residuos domésticos, ya que tienen una composición relativamente parecida, siendo la principal diferencia su contenido en agua.

Para los tamices, al ser la luz de paso considerablemente menor, las cantidades de residuos retirados son muy superiores a los generados por las rejillas, variando entre 50 y 250 litros por cada 1.000 m³ de agua tratada.

6.2 TRATAMIENTOS PRIMARIOS

- DESARENADO

La función del desarenado es separar los sólidos pesados en suspensión (arenas, arcillas, limos) que lleva el agua residual y, que pueden perjudicar los tratamientos posteriores. El desarenado se realiza mediante sedimentación.

La retirada de estos sólidos en suspensión se realiza en unos depósitos, donde se reduce la velocidad del agua, por debajo de los límites de precipitación de los granos de dichas arenas, pero por encima de los de sedimentación de la materia orgánica, de forma que las partículas de arena en suspensión se van a depositar en el fondo del depósito denominado desarenador.

En los tratamientos de depuración convencionales se suele emplear equipos que realicen en la misma etapa la función de Desarenado y Desengrase. En los mataderos es común que se prescinda de esta etapa, dando prioridad a la de Desengrasado dotando a estos sistemas de piezas para la retirada de las posibles arenas que haya que para el caso de la industria agroalimentaria suele ser casi nula.

- DESENGRASADO

El objetivo de un desengrasador es la eliminación de grasas, aceites, espumas y resto de materias flotantes más ligeras que el agua residual.

Las aguas de matadero contienen una gran cantidad de grasas, que van a crear numerosos problemas en la depuración de las aguas, especialmente en los elementos y procesos siguientes:

- En rejillas finas van a causar obstrucciones aumentando los gastos de mantenimiento.

- En los decantadores forman una capa superficial dificultando la sedimentación, al atraer hacia la superficie pequeñas cantidades de materia orgánica.
- En la depuración biológica por fangos activos, dificultan la correcta aireación, disminuyendo el coeficiente de transferencia, participan en el fenómeno de bulking.
- Perturban la digestión de los lodos.
- La DQO en mataderos se incrementa de un 8 a un 15% por las grasas contenidas en los vertidos.

La solución para evitar la existencia de grasas en las aguas de vertido es la instalación de cámaras de desengrasado.

En el caso de los mataderos, la técnica más empleada para la separación de grasas es la flotación.

En los procesos de flotación para la eliminación de partículas sólidas difíciles de eliminar por gravedad debido a su densidad, se consigue introduciendo finas burbujas de gas normalmente aire en la fase "líquida. Suele ser común emplear productos químicos para mejorar la adhesión de las burbujas de aire sobre los sólidos.

Las burbujas se adhieren a las partículas, reduciendo la densidad de estas, y por tanto, permitiendo su ascenso hasta la superficie del líquido donde se recogen mediante rasquetas.

Los sistemas de Flotación más comunes son:

- *Flotación por Aire Disuelto (DAF)*: En el proceso DAF (dissolved air flotation) los sólidos suspendidos en las aguas residuales, se eliminan con mayor facilidad porque flotan con ayuda de burbujas de aire. Para ello el aire se disuelve a una presión de 3-5bares en las aguas residuales con lo que se produce una solución estable, libre de burbujas. Cuando el líquido presurizado, saturado de aire penetra en el tanque de flotación la disminución de la presión determina la liberación de un gran número de microburbujas de aire. En su ascensión las burbujas se adhieren a la materia suspendida en las aguas residuales haciendo que flote, llegando a formarse en la superficie una capa espumosa de sólidos que pueden separarse con facilidad por rebosamiento.

Efectivo para eliminar un amplio rango de sólidos. Sus principales aplicaciones se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de fangos.

- *Flotación por aire:* Se produce mediante aireación, generalmente con difusores a Presión Atmosférica. No está recomendada para conseguir la flotación de grasas y Aceites. Útil en tratamiento de aguas residuales con tendencia a generar espumas.
- *Flotación a Vacío:* El agua residual se satura con aire a presión atmosférica seguida de aplicación de vacío. La espumas formadas en la parte superior se eliminan mediante un mecanismo de raspado Superficial.

En los mataderos e industrias cárnicas esta técnica de separación de grasas y proteínas se utiliza antes o después del tamizado o la sedimentación. Se suele combinar con tratamientos físico-químicos de floculación para mejorar su eficacia.

- **BALSAS DE HOMOGENEIZACIÓN**

Las balsas de homogeneización son de gran utilidad en aguas industriales. Son de gran interés en industrias que no funcionan 24 horas al día, transformando el caudal de vertido durante el turno en un caudal regular y continuo durante todo el día.

Son especialmente beneficiosas cuando se tratan caudales reducidos con cargas muy altas en los que se precisa tratamiento biológico, este caso se presenta en múltiples sectores de la industria alimentaria, como el que se lleva a cabo en este proyecto, dado que la actividad desarrollada en el matadero presenta cargas de DBO, DQO muy altas en un caudal relativamente pequeño.

Las principales ventajas que produce la homogeneización de los caudales son las siguientes:

- Mejora del tratamiento biológico, ya que se consigue diluir las sustancias inhibidoras y estabilizar el pH.
- Reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejorando los rendimientos de los filtros.

Para el caso concreto de este matadero, que tiene una actividad en torno a las 7/8 horas diarias durante 5 días a la semana, será necesaria la implantación de una balsa antes de la aplicación del tratamiento biológico.

Entre los principales problemas que presentan las balsas son la sedimentación de sólidos en suspensión.

Para la ejecución de las balsas se puede emplear hormigón o tierra con lámina sintética impermeabilizante, las primeras son más caras, por el contrario requieren menos mantenimiento y son las más idóneas para la instalación de difusores de aire. En la industria es frecuente la utilización de tanques metálicos cilindros verticales y cerrados en vez de balsas abiertas.

La balsa se suele instalar aguas abajo de los sistemas de desbaste con el fin de evitar la sedimentación de sólidos gruesos.

Proporciona un aporte continuo de agua, así se evitan posibles subsedimentos.

No es necesaria la alimentación continua al digestor, pero cuanto más continua sea la entrada del efluente del digestor menos será la pérdida de biomasa dentro de él.

Los parámetros a tener en cuenta para el dimensionamiento del Homogeneizador son los siguientes:

- CAUDAL DE DISEÑO
- TIEMPO MÁXIMO DE RESIDENCIA A CAUDAL DE DISEÑO tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño. Rango usual del parámetro 1 a 4 min.
- VELOCIDAD ASCENCIONAL A CAUDAL DE DISEÑO Velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño. Rango usual para este parámetro 0.5 a 3.
- RELACIÓN LONGITUD/ANCHURA DEL POZO resultado de dividir la longitud de la balsa entre la anchura de la balsa Rango usual para este parámetro 1 a 3.

- VOLUMEN UTIL: Volumen útil del pozo de gruesos sin considerar resguardo (distancia desde la lámina de agua a la coronación de muro) ni tolva de almacenamiento de arenas situada en el fondo del pozo.
- PROFUNDIDAD UTIL: profundidad del pozo de gruesos sin considerar la altura de resguardo ni de la tolva de arena.
- TIEMPO MEDIO DE RESIDENCIA

6.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico es indicado cuando las aguas son biodegradables. Las aguas residuales procedentes de los mataderos suelen ser biodegradables.

El tratamiento secundario tiene como objetivo la transformación de la materia orgánica biodegradable disuelta en sólidos sedimentables, cuya retirada es relativamente fácil, a través de reacciones bioquímicas en las que intervienen microorganismos vivos. Suele constar de dos elementos principales:

- Reactor Biológico
- Decantador

Dependiendo de que las reacciones bioquímicas se hagan en presencia o ausencia de oxígeno disuelto distinguimos los siguientes Tipos de procesos biológicos:

- Procesos Aerobios
- Procesos Anaerobios
- Procesos Anóxicos

Tanto en unos procesos como en otros, se puede hacer una clasificación atendiendo a la disposición del a biomasa:

- Biomasa en estado libre o en suspensión: En los cuales los microorganismos responsables se encuentran en mezcla con el agua residual a tratar
- Biomasa en lecho fijo: Los microorganismos se encuentran fijados sobre un soporte físico.
 - o Soporte fijo

- Soporte Móvil
- Lechos fluidificados: Biomasa

En el siguiente cuadro adaptado de la tabla 8-6 de “*Metcalf & Eddy Ingeniería de aguas residuales Tratamiento Vertido y Reutilización*” se muestra un esquema con los distintos tipos de tratamientos biológicos según el tipo de proceso y el medio de soporte.

TIPO	NOMBRE COMUN
PROCESOS AEROBIOS	
CULTIVO EN SUSPENSIÓN	PROCESO DE FANGOS ACTIVOS
	- CONVENCIONAL FLUJO EN PISTON
	- AIREACION PROLONGADA
	- MEZCLA COMPLETA
	LAGUNAS AIREADAS
CULTIVO FIJO	FILTROS PECOLADORES
	- BAJA CARGA
	- ALTA CARGA
	SISTEMAS BIOLÓGICOS
	ROTATIVOS DE CONTACTO (RBC)
PROCESOS COMBINADOS	BIOFILTROS ACTIVADOS
PROCESOS ANAEROBIOS	
CULTIVOS EN SUSPENSIÓN	DIGESTIÓN ANAEROBIA
	- BAJA CARGA, UNA ETAPA
	- ALTA CARGA, UNA ETAPA
CULTIVO FIJO	FILTRO ANAEROBIO
	LECHO EXPANDIDO
PROCESOS ANOXICOS	
CULTIVO EN SUSPENSIÓN	DESNITRIFICACIÓN
	CON CULTIVO EN SUSPENSION
CULTIVO FIJO	DESNITRIFICACIÓN DE PELICULA FIJA

Tabla 6.1 Procesos Biológicos Tratamiento Agua Adaptada libro “*Metcalf & Eddy Ingeniería de aguas residuales Tratamiento Vertido y Reutilización*”.

6.3.1 PROCESOS AEROBIOS

Los Procesos Biológicos de Depuración Aerobia, son aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos) que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación. La unión de materia orgánica, bacterias y sustancias minerales forma los flóculos, y el conjunto de ellos es lo que todos conocemos como fango biológico. Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de algunas aguas, también se persigue la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo. Por último, conseguimos además la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan el agua residual.

La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:

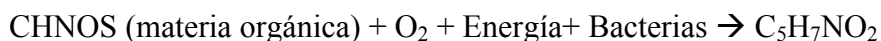
Materia orgánica + Microorganismos + Nutrientes + O₂ → Productos Finales + Nuevos microorganismos + Energía

Para que lo anteriormente expuesto se produzca, el oxígeno actúa como aceptor de electrones, las bacterias son los organismos más importantes por ser muy buenos oxidadores de la materia orgánica. En la oxidación biológica son necesarias reacciones fundamentales:

- Catabolismo (oxidación o descomposición)

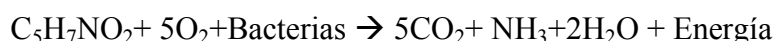
CHNOS (materia orgánica) + O₂ + Bacterias → CO₂ + NH₃ + H₂O + Energía + Otros productos

- Anabolismo (Síntesis o asimilación) Consisten en la incorporación del alimento (materia orgánica y nutrientes) al interior de los microorganismos. Estos microorganismos al obtener suficiente alimento no engordan, sino que forman nuevos microorganismos reproduciéndose rápidamente. Parte de este alimento es utilizado como fuente de Energía. La reacción que ocurre es la siguiente:



(Nuevas Células)

- Autólisis (Respiración endógena u autooxidación) Los microorganismos al igual que nosotros, necesitan de Energía para poder realizar sus funciones vitales (moverse, comer etc.), dicha energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción



Después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos (bacterias), la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células, gases y otros productos. Este nuevo cultivo microbiano seguirá actuando sobre el agua residual. A todo este conjunto de reacciones se les denomina de oxidación biológica, porque los microorganismos necesitan de oxígeno para realizarlas. La Cinética con la que se llevan estas reacciones es alta.

Factores que intervienen en la oxidación biológica

Los factores principales que hay que tener en cuenta para que se produzcan las reacciones biológicas y por tanto, la depuración del agua residual son:

- *Las características del sustrato:* las características físico-químicas del agua residual, determinan el mejor o peor desarrollo de los microorganismos en este sistema, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son.
- *Los nutrientes:* el interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg etc..., denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica. Se ha determinado a nivel medio que los microorganismos para sobrevivir necesitan por cada 1000 gr. de C, 43 de N y 6 de P, y que en las aguas residuales urbanas

existen por cada 1000 gr. de C, 200 gr. de N y 16 gr. de P. Si comparamos lo que necesitan los microorganismos para sobrevivir, con las cantidades existentes de dichos elementos en el agua residual, podemos concluir que a título general dichos microorganismos pueden desarrollarse en el agua residual perfectamente. Es interesante comentar que en el caso de determinadas aguas con vertidos industriales, las proporciones de dichos elementos no están equilibradas, siendo necesario a veces dosificar N y P en el agua, para que pueda darse el desarrollo bacteriano y exista depuración biológica.

- *Aportación de Oxígeno:* como hemos visto, para el desarrollo de las reacciones biológicas es necesario un medio aerobio, es decir, con oxígeno suficiente que permita el desarrollo y la respiración de los microorganismos aerobios.
- *Temperatura:* A medida que aumenta, también lo hace la velocidad con que los microorganismos degradan la materia orgánica, pero a partir de los 37°C, dichos organismos mueren. Nuestras temperaturas son ideales para el desarrollo óptimo de los procesos de depuración biológica.
- *Salinidad:* el contenido en sales disueltas no suele ser problemático para el desarrollo bacteriano en el proceso de fangos activos hasta concentraciones de 3 a 4 gr/l. En los procesos de cultivos fijos (lechos bacterianos), la influencia es aún menor, no afectando valores que no superen los 15 gr/l. Sin embargo, existen multitud de grupos bacterianos capaces de vivir en aguas saladas, de forma que si a tu sistema de depuración le das tiempo de adaptación, pueden desarrollarse bastante bien dichos grupos microbianos a concentraciones salinas superiores
- *Tóxicos o inhibidores:* existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que, a ciertas concentraciones, inhiben o impiden los procesos biológicos. Este tipo de sustancias, entre las que se encuentran los metales pesados, ejercen un efecto perjudicial sobre los microorganismos encargados de depurar el agua y por tanto, no deben de entrar en las plantas depuradoras

con el agua residual, o si entran deben de hacerlo en concentraciones muy bajas.

Todos estos factores mencionados son de gran importancia, y deben de ser controlados si queremos obtener un rendimiento eficaz de depuración por parte de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica del agua residual.

- **PROCESO DE FANGOS ACTIVOS O LODOS ACTIVOS**

Este sistema es el tratamiento secundario más utilizado y cuenta con un gran número de variaciones disponibles.

Es un proceso biológico de alta carga en el cual los microorganismos se encuentran en suspensión en el seno del fluido. El sistema de fangos activos persigue la asimilación y floculación por bacterias de materia orgánica disuelta, para lo cual se ponen en contacto las bacterias con materia orgánica. Los microorganismos presentes en el reactor convierten los componentes biodegradables del agua residual en nuevas células y subproductos que se separan del efluente por sedimentación o en casos excepcionales por flotación. Las bacterias presentes pueden captar pequeñas cantidades de componentes inorgánicos.

Por otra parte, es necesario suministrar el oxígeno necesario para la respiración de las bacterias y la oxidación de la materia orgánica. Para aquellos sistemas de fangos activos en los que exista una recirculación, el fango separado en el fondo del decantador se recircula hasta la entrada de la balsa para aumentar la concentración de bacterias presentes en el agua residual, esta recirculación se mantiene hasta que la concentración de sólidos en suspensión en la balsa es la requerida.

Los fangos purgados se denominan fangos en excesos y pueden separarse tanto de la recirculación como del contenido de la balsa de aireación denominado licor mixto. El licor mixto incluye el agua residual, los microorganismos, materia inerte y materia orgánica, biodegradable o no.

El sistema consta de dos unidades básicas independientes:

- Reactor de aireación
- Depósito de sedimentación

Para el correcto funcionamiento, en un sistema de fangos activos, se necesita la instalación de los siguientes elementos:

- Equipo de suministro de oxígeno o así como los elementos necesarios para introducirlo en cantidad suficiente para mantener la concentración de oxígeno deseada.
- Un sistema de mezcla para la balsa de aireación que mantenga los sólidos en suspensión.

La concentración de nutrientes en las aguas residuales suele ser suficiente para desarrollar un proceso biológico de fangos activos. En el caso de las aguas residuales industriales y más concretamente en las procedentes de las industrias cárnicas puede darse la circunstancia en la que el balance nutritivo sea inapropiado para el metabolismo microbiano, pudiendo ser necesario la adición de nutrientes suplementarios. La relación típica de Nutrientes es la siguiente: **DBO/N/P: 100/5/1**.

SISTEMA DE AIREACIÓN

La selección equipos de aireación es una tarea fundamental. El oxígeno se suministra mediante uno de los dos sistemas que se utilizan normalmente que son:

- Difusores
- Turbinas o Aireadores

La energía requerida para satisfacer la demanda de oxígeno depende de la DBO aportada por el agua residual así como de los kilos de sólidos en suspensión.

El rendimiento de la transferencia de oxígeno es el porcentaje de oxígeno que se disuelve en el agua del total suministrado al difusor.

Para este tipo de tratamientos es necesario un equipo de suministro de oxígeno o aire así como los elementos necesarios para introducirlo en cantidad suficiente para mantener la concentración de oxígeno deseada.

Microorganismos

En el proceso de Fangos activos emplea una suspensión de microorganismos floculentos. La población es mayormente heterótrofa y requiere de materia orgánica biodegradable para obtener energía y realizar la síntesis celular. Durante el proceso de

depuración tiene lugar una compleja serie de reacciones bioquímicas que se pueden simplificar en tres actividades fundamentales: Oxidación, síntesis y ocasionalmente autooxidación. La oxidación libera energía gracias a la conversión de materia orgánica en productos de bajo nivel energético. (CO_2 y H_2O) y la síntesis es la conversión de una porción de la materia orgánica en nueva biomasa, gracias a la energía liberada en la oxidación.

En este tipo de tratamiento biológico el residuo orgánico se introduce en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. EL contenido del reactor

6.3.2 ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES PROCESOS ANÓXICOS

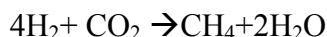
El nitrógeno se elimina por el fenómeno de nitrificación-desnitrificación, que se provoca instalando zonas anóxicas alternadas con zonas aerobias en el reactor biológico. La eliminación de fósforo puede conseguirse por precipitación o también de forma similar a la empleada para la eliminación del nitrógeno.

6.3.3 FUNDAMENTO DEL PROCESO ANAEROBIO

La digestión anaerobia de aguas residuales y fango de depuración es una práctica muy empleada en depuración industrial de aguas. Es un proceso en el que la materia orgánica contenida en estos sustratos es mineralizada mediante la acción de microorganismos anaerobios, productores de un gas de elevado poder energético y bajo poder contaminante, además de generar un volumen de fangos mineralizado exiguo (del orden del 10% respecto a la depuración aerobia). Los microorganismos causantes de las reacciones bioquímicas implicadas en la digestión anaerobia se encuentran en tres grupos:

- Bacterias hidrolíticas
 - Bacterias Acidogénicas
 - Bacterias Metanogénicas
-
- *Bacterias Hidrolíticas*: Actúan solamente sobre la materia disuelta, pudiendo también disgregar agregados orgánicos discretos. En general este tipo de bacterias hidrolizan hidratos de carbono, proteínas y lípidos a los que convierten respectivamente, en azúcares simples de uno o dos átomos de carbono, aminoácidos y ácidos grasos.

- Bacterias Acidogénicas: Se trata de microorganismos anaerobios facultativos, según el sustrato concreto sobre el que actúen este tipo de bacterias pueden formar ácido acético, propiónico, butírico, CO₂ y H₂ a partir de los azúcares simples suministrados por las bacterias hidrolíticas. Caso de metabolizar aminoácidos, generarían ácidos grasos volátiles, amonio y CO₂. Por último si consumiesen ácidos grasos, producirían sobre todo, ácidos fórmico y acético, e incluso en alguna pequeña proporción CH₄. Las bacterias acidogénicas proliferan de forma adecuada siempre y cuando existan en el cultivo otros microorganismos consumidores del CH₄ que ellos mismos producen en su ciclo vital (y que les es desfavorable).
- Bacterias metanogénicas: Bacterias anaerobias estrictas, su cinética de crecimiento es considerablemente lenta aún en condiciones óptimas. Obtienen energía para su vida de la transformación del hidrógeno molecular producido por las bacterias acidogénicas según la reacción:



Algunas de estas bacterias son capaces de metabolizar metanol, e incluso ácidos fórmico y acético. En la actualidad se están desarrollando bacterias metanogénicas que pueden llevar a cabo la metanización de compuestos orgánicos con más de un átomo de carbono, proceso muy útil desde la óptica industrial.

Las bacterias metanogénicas responden a dos tipos principales según su morfología: Células con forma de bastón (Methanobacterium que no forman esporas, o Methano bacillum que si las forman) y con forma esférica (Methanococcus o Methabosarcina). Para finalizar es destacable que junto a las bacterias reseñadas pueden existir en los reactores anaerobios como competidores, otras bacterias anaerobias estrictas (por ejemplo sulfobacterias) que también usan hidrógeno y ácido acético para su metabolismo, siendo totalmente indeseables para la obtención de biogás.

II. LINEA DE FANGOS

6.4 TRATAMIENTO DE FANGOS

Comprende el tratamiento de fangos procedentes de los tratamientos primarios y secundarios antes de su posterior evacuación.

Los lodos producidos durante los procesos de tratamientos primarios de separación líquido sólido se denominan, lodos primarios, siendo los obtenidos mediante tratamientos biológicos, secundarios.

Para la reducción de las cantidades de compuestos orgánicos y volátiles existe la posibilidad de someterlos a un proceso de digestión cuyo producto resultante tendrá un contenido considerablemente más bajo de materia orgánica, el producto resultante se denomina lodo estabilizado.

6.4.1 ESPESAMIENTO DE LODOS

Para la evacuación de los fangos resultantes del tratamiento biológico el primer paso consiste en el espesamiento de lodos, existen principalmente dos tipos:

- Espesamiento por Gravedad.
- Espesamiento por Flotación aire disuelto.

En estos espesadores se consigue un aumento de la concentración del orden de 8 veces la inicial (valor final medio del 4%).

Ventajas/objetivos del Espesamiento

- Reducir el volumen de los lodos antes de su posterior evacuación.
- Para aquellos casos en los que se va a llevar a cabo un proceso posterior de digestión de Fangos. (No es el caso para este proyecto), mejora el funcionamiento del digestor.

- ESPESADOR POR GRAVEDAD

Normalmente son Tanques Estáticos de sección circular en los que se dispone de un mecanismo rotativo, provisto de rasquetas que arrastran el fango precipitado hacia las arquetas de recogida, desde donde se bombea al equipo de deshidratación. El agua decantada clarificada se extrae por los vertederos situados en la parte superior y se

recupera en cabecera de tratamiento. A veces, los decantadores por gravedad pueden disponer de lamelas que al aumentar la superficie de decantación permiten reducir el volumen del decantador, obteniendo buenos resultados en el espesamiento

- **ESPESADOR POR FLOTACIÓN**

Aprovecha la flotabilidad de las partículas cuando se les adhieren pequeñas burbujas de aire. El espesamiento de fangos por flotación es un proceso en el cual los fangos son mezclados con un caudal de agua presurizada y saturada de aire (flotación por aire disuelto). Este caudal combinado entra en el tanque de flotación a baja velocidad a través de una conducción de mezcla (flotador) que desemboca en un compartimento de entrada por vía de un sistema de distribución compartimento de entrada por vía de un sistema de distribución. El agua pasará una compuerta rebosadero y entrará en el compartimento de separación, desde donde es enviada a cabecera de tratamiento, mientras el fango espesado y flotante es enviado a la siguiente fase de deshidratación. La concentración del fango en materia seca tras esta fase de La concentración del fango en materia seca tras esta fase de espesamiento suele estar en el entorno del 4% (40 g/l). El espesamiento del fango, fundamentalmente en la flotación, se ve favorecido mediante el empleo de polielectrolito adecuado (pudiendo alcanzarse hasta el 6%).

Puede utilizarse para aquellos lodos de naturaleza Gelatinosa.

6.4.2 TRATAMIENTOS PREVIOS AL SECADO DE LODOS

El secado de lodos se hace especialmente difícil cuando estos son de consistencia gelatinosa. A continuación se describen los tratamientos previos.

- **COAGULACIÓN QUÍMICA**

La adición de coagulantes favorece la coalescencia de las partículas de los lodos y mejora su filtración, puede ir precedida de un lavado de lodo, operación conocida como levigación. **La legislación** permite reducir la alcalinidad disminuyendo la cantidad de coagulante requerido. Los coagulantes más comunes son cloruro férrico, cal y polielectrolitos.

- **TRATAMIENTO TÉRMICO DE LODOS**

Existen dos tratamientos consistentes en la oxidación húmeda de lodo mediante un proceso de oxidación química de los sólidos orgánicos en fase acuosa, por oxígeno disuelto en reactores que funcionan en elevadas condiciones de temperatura y presión, cuyos nombres comerciales son:

- Porteus
- Zimpro.

Las ventajas del tratamiento térmico radica en que los lodos se esterilizan, desodorizan y pueden filtrarse más fácilmente.

6.4.3 SECADO o DESHIDRATACIÓN DE LODOS

- **SECADO DE LODOS POR FILTRACIÓN AL VACÍO**

Mediante este procedimiento el agua se separa aplicando el vacío a través de un medio poroso que retiene los sólidos y permite al líquido pasar.

Se emplean distintos medios filtrantes, tejidos de nylon, malla metálica. La unidad central es un cilindro rotativo dentro del tanque de lodos. El vacío se realiza en la parte sumergida del cilindro, reteniéndose los sólidos en la superficie de este. La torta se empieza a formar en el punto A de comienzo de inmersión aumentando a medida que el tambor se introduce en el lodo, alcanzando su espesor final en el punto B que emerge. Al final del ciclo se separa la torta. El tiempo requerido para separar la torta y para el lavado se conoce como tiempo de lavado.

- **SECADO POR FILTRACIÓN A PRESIÓN**

Como ventaja respecto a los Filtros de Vacío es la obtención de una torta más seca, punto especialmente interesante si la evacuación posterior va ser mediante incineración.

Encontramos mediante este sistema de secado los Filtros Prensa, que se tratan de un sistema de funcionamiento continuo que utiliza una combinación de gravedad, presión y desplazamiento para eliminar el agua de los lodos. Este sistema consta de varias etapas. En una primera el lodo es distribuido sobre una cinta a través de la cual la mitad del agua es eliminada por percolación. Después de esta etapa de drenaje por gravedad, el

lodo, relativamente concentrado en sólidos, se transporta a un sistema de cintas a presión. La torta resultante es exprimida entre dos cintas, aumentando progresivamente la presión sobre ésta a medida que se produce la disminución del diámetro de los cilindros y el aumento de la tensión de la cinta, que se obtiene mediante el ajuste de los rodillos a presión.

- SECADO POR CENTRIFUGACIÓN

Secado realizado por una máquina centrifugadora. En este sistema los lodos se compactas por fuerza centrífuga contra la pared interior de la cuba rotativa, siendo arrastrados por el transportador hacia la salida. El líquido se descarga por el extremo opuesto. Los componentes de la centrifuga son los siguientes:

1. Carcasa Fija.
2. Cuba Rotativa.
3. Transportador Interior Rotativo.
4. Partes Motrices (Motor, Reductor).
5. Válvula de Entrada de Lodos.
6. Válvula de Salida de Sólidos.
7. Válvula de Salida de Líquidos.

- ERAS O LECHOS DE SECADO DE LODOS

Secado al aire de lodos en lechos de arena es uno de los métodos más económicos en función de la disponibilidad de terrenos, condiciones climáticas favorables (seco y caluroso), así como las características de los lodos.

En la evaporación de lodos en lechos de arena actúan dos mecanismos:

- Percolación (o infiltración) de agua a través del lecho de arena. La proporción de agua eliminada oscila entre el 20 y el 55 por ciento dependiendo del contenido inicial de sólidos. Esta fase dura entre 1 y 3 días. Resultando una concentración de sólidos entre el 15-25%.

- Evaporación de agua mediante radiación y convección. La velocidad de evaporación es más lenta que la percolación y depende de factores como la temperatura y humedad relativa del aire. Durante el periodo en que la superficie del lodo está húmeda la velocidad de evaporación es relativamente independiente de la naturaleza del lodo. Cuando se alcanza la humedad crítica, la velocidad de secado depende más factores como son el espesor y propiedades físicas de lodo, así como condiciones atmosféricas.

Se anexa cuadro esquema adaptado del libro “*Tratamiento de aguas residuales. R. S. Ramalho*” con los distintos tratamientos típicos empleados

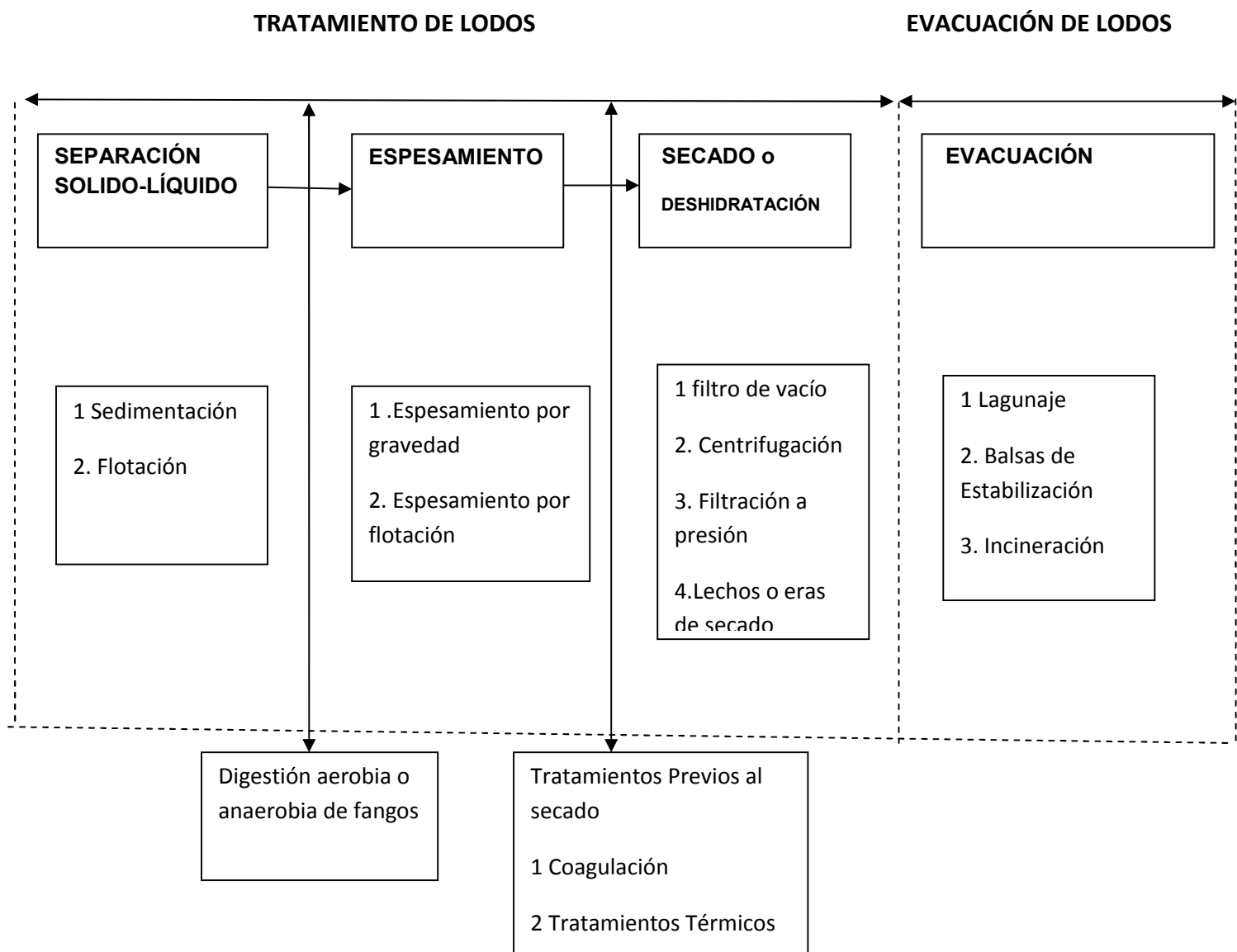


Tabla 6.2. Esquema Tratamientos de Fangos, adaptado “*Tratamiento de aguas residuales. R. S. Ramalho*”

7. ALTERNATIVAS TRATAMIENTO BIÓLOGICO

En este punto se van a describir varias soluciones alternativas al Tratamiento Biológico escogido. Se analizará con mayor detalle el Sistema MBR y el de Aireación Prolongada por ser los más utilizados para industrias de este tipo en Europa y en particular en España. Después mencionaremos con menor profundidad otras alternativas distintas de las de Fangos Activos, cuyo empleo es más típico en otros países, haremos una breve descripción de su funcionamiento y citaremos las ventajas e inconvenientes de dichos sistemas.

7.1 SISTEMA MBR

Este proceso se puede definir como la combinación de dos procesos básicos: oxidación biológica y separación por membrana. Sus principales ventajas son la producción de un efluente de alta calidad en términos de C.N.P. una perfecta desinfección y el mantenimiento de biomasa superiores lo que conduce a sistemas muy compactos.

El sistema MBR es apropiado para situaciones que requieran una alta calidad del efluente o para afluentes con una alta concentración como es el caso que nos ocupa.

En los biorreactores de membrana se combinan los procesos básicos de degradación biológica y separación por membrana en un proceso único en el que los sólidos en suspensión y microorganismos responsables de biodegradación son separados del agua tratada, mediante una unidad de filtración por membrana. La totalidad de la biomasa está confinada dentro del sistema, proporcionando un control perfecto del tiempo de permanencia de los microorganismos en el reactor (edad del fango) y desinfección del efluente.

El influente entra en el biorreactor donde es puesto en contacto con la biomasa, la mezcla es bombeada del biorreactor y, luego bajo presión filtrada a través de la membrana. El agua filtrada es descargada del sistema mientras que la biomasa es devuelta al biorreactor. El exceso de fango se bombea y se descarga con el fin de mantener una edad del fango constante. La membrana se limpia periódicamente mediante lavado a contracorriente, lavado químico o ambos.

Las unidades de reactor biológico y de membrana del sistema MBR se pueden combinar bien externamente, en cuyo caso la biomasa debe circular entre el biorreactor y la membrana, o bien integrando las membranas dentro del biorreactor. La segunda configuración MBR integrado, requiere membranas del forro exterior (MFE). La primera configuración corresponde a un MBR recirculado y se puede operar con membranas de forro interior (MFI) o exterior.

La diferencia entre un tipo de configuración y la otra está en la tecnología usada para crear el gradiente de presión entre ambos lados de la membrana. En el MBR integrado, la presión a través de la membrana sólo se puede crear mediante la aspiración de la misma o mediante la presurización del biorreactor.

Selección de membrana

Existe una gran diversidad de membranas utilizadas en aplicaciones industriales. Las membranas de forro pelicular exterior, ofrecen muchas ventajas, incluyendo el bajo consumo de energía e importantes reducciones de coste de fabricación.

La tecnología de membranas dinámicas, la instalación de filtración (bloque de membranas) y la energía asociada requerida para la operación, representan los principales costes de inversión y operación.

La membrana debe cumplir una serie de criterios básicos, primero para limitar el ensuciamiento, la distribución de tamaños de los poros de la membrana debe tener la mínima interferencia posible con la distribución de tamaños de las partículas o moléculas a filtrar. Membranas altamente porosas con poros uniformemente distribuidos mejoran el rendimiento de filtración. Es preferible que la membrana sea hidrófila y esté cargada negativamente, o neutra con el fin de limitar la adsorción de biomasa.

La membrana deberá ser no biodegradable por los microorganismos presentes en la solución y fácil de limpiar y regenerar en caso de incrustación. Este último criterio es importante ya que un fallo biológico o modificación repentina del efluente, podría resultar en una seria incrustación o ensuciamiento de la membrana.

Los análisis técnico-económicos

El coste de las membranas supone la mayor parte de la inversión. Los equipos de filtración basados en su mayor parte en membranas de forro pelicular interior, están especialmente indicados para aplicaciones de aguas residuales industriales de alta concentración.

Rendimiento biológico de los BRM

En los procesos convencionales biológicos con biomasa en suspensión o agregada, ejercen una presión de selección sobre la biomasa que tiende a favorecer la formación de flóculos bacteriano o biopelículas. En ambos casos los microorganismos son mantenidos juntos por una mezcla compleja de exopolímeros que impide la difusión del substrato y, por tanto la velocidad degradación.

Los biorreactores de membrana permiten contrarrestar la presión de selección, las elevadas velocidades tangenciales limitan el tamaño de los flóculos, conduciendo a mayores velocidades de transferencia másica hacia los microorganismos.

La distribución de tamaños de los flóculos procedentes de las muestras tomadas de un fango activado y un MBR alimentado con el mismo influente muestran un menor tamaño de la unidades de flóculos en el fango del MBR. La disminución en la presión de selección para microorganismos formantes de flóculos y las mayores velocidades de transferencia másica son responsables de mayores rendimientos específicos y en cierta medida explican la baja producción de fangos en los MBR.

La calidad del efluente es muy buena siendo los porcentajes de eliminación de DQO y DBO respectivamente superiores al 90 por 100. Estos resultados pueden ser atribuidos a la mejor degradación biológica y a la membrana, que elimina la materia en suspensión y algunas macromoléculas debido a su fraccionamiento retentivo.

La aplicación de MBR en condiciones anaeróbicas y anóxicas muestran una producción de biomasa equivalente a la de los procesos convencionales. El uso de biorreactores de membrana modifica considerablemente el ecosistema aeróbico, pero tiene menos influencia sobre biomasas anaeróbicas o anóxicas.

El diseño óptimo de un proceso de MBR permite la posibilidad de utilizar altas concentraciones de Biomasa y así aumentar la carga volumétrica reduciendo la

inversión en obra civil, teniendo en cuenta que hay que considerar el riesgo que presenta la acción de altas concentraciones de biomasa sobre el rendimiento de la membrana, que a su vez puede conducir a la necesidad de una mayor superficie de la membrana, así mismo altas concentraciones de materias en suspensión afectan la transferencia de oxígeno, viscosidad de fango y, en consecuencia el coste de energía.

Tratamiento del exceso del fango

La filtración de altas concentraciones de fango por membranas de forro pelicular interior, requiere una filtración preliminar para evitar la obstrucción de la membrana, particularmente cuando se utilizan tuberías de pequeños diámetros entre 2 y 6 mm de diámetro interior. Una relación de uno-a-cinco entre el diámetro interior de la membrana y la malla de prefiltración limitaría la obstrucción de la membrana.

La calidad del fango producido con membranas de forro pelicular interior requiere el uso de procesos de deshidratación de tipo centrífugo o filtro prensa. Esto se debe a la estructura del fango de los MBR que es menos floculada que el fango activado convencional y, por tanto no puede ser desecado con una cinta prensa convencional.

La estructura del fango de los MBR de membranas de forro pelicular exterior es muy similar a la del fango activado y, por tanto, puede ser deshidratado por procesos convencionales.

Biorreactores

Los tratamientos en biorreactores de membrana anaeróbicos se suelen aplicar cada vez más para el tratamiento de efluentes industriales, especialmente en aquellos con alto nivel de productos que fermentan fácilmente. Por el contrario los tiempos de retención de la biomasa requeridos para mantener las bacterias metanógenos de crecimiento lento son muy largos.

Para el proceso del MBR anaeróbico, el coste del tratamiento por kilogramo de DQO es altamente dependiente de la concentración del efluente, esta conclusión es aplicable a todo tipo de MBR sea aeróbico o anaeróbico. De hecho, el principal gasto de este proceso, que está relacionado con el coste de las membranas en sí, depende más del caudal del agua residual y, por tanto, de la superficie de la membrana, que de la DQO.

Procesos de MBR aeróbicos/anóxicos

El proceso desarrollado por Degremont está basado en el acoplamiento de un birreactor aeróbico (de 6 a 8 m de profundidad) equipado con aireación de fondo y una membrana cerámica.

El proceso diseñado por “zenon” permite operar bajo presión (Bioreactor +membrana) lo que permite optimizar la transferencia de oxígeno. La presión óptima es de 3bares, lo que da como resultado un alto consumo de energía 10 kW/m³.

En resumen, el biorreactor de membrana es un proceso muy atractivo para aguas residuales industriales biodegradables de alta concentración por la alta calidad del efluente que permite su reutilización dentro de las instalaciones industriales.

Parámetros modelo que afectan al rendimiento de filtración

La filtración de suspensiones celulares que contengan materias tanto disueltas como en suspensión es un proceso complejo.

- Modelo para describir la relación caudal de filtrado-presión de transmembrana en todo el rango de presiones.
- $J = \text{incremento } p / u (r_n + r_m + r_c)$
- $J = \text{flujo de filtrado } m^3/m^2/h$
- Viscosidad del filtrado Pa.s
- $P = \text{presión de operación, Pa}$
- $R_m = \text{Resistencia hidráulica L/m}$
- $R_n = \text{bioensuciamiento irreversible, l/m}$
- $R_c = \text{resistencia debida a la capa de torta. L/m}$
- R_m Es característica de la membrana y corresponde a la resistencia intrínseca de ésta

El bioensuciamiento irreversible R_n , que produce una resistencia complementaria a la filtración y puede tener diversas causas asociadas a la porosidad de la membrana, es en muchos casos debido a la adsorción de moléculas orgánicas solubles. La resistencia debida a la torta, R_c , que se forma en la superficie de la membrana es una función de la concentración y composición de la materia en suspensión, así como de las condiciones hidráulicas aplicadas.

Un factor limitante para la comercialización de MBR de forro pelicular interior es el elevado coste energético asociado a la circulación de fangos en la membrana. Tanto la pérdida de carga, que es función de las características de la membrana (L, d), como la velocidad de circulación, dependen de la viscosidad de la suspensión.

Un aumento en la concentración de fangos en el reactor biológico puede tener, debido a su efecto sobre la viscosidad, un efecto negativo sobre el flujo de filtrado e incrementar así el coste de inversión. Además, las pérdidas de carga en la membrana pueden conducir a costes energéticos adicionales.

La estructura de la torta de filtración depende de la fisiología de la biomasa, PTM, velocidad de flujo cruzado y condiciones fisicoquímicas., para una baja concentración de biomasa, las fuerzas iónicas inferiores favorecen el flujo de filtración al aumentar la porosidad de la costra, reduciendo así su resistencia hidráulica específica.

Ventajas del proceso del MBR

- Es un sistema en el que simultáneamente se puede proceder al tratamiento biológico y a la desinfección del efluente.
- Permite trabajar en el reactor biológico con una biomasa de elevadas concentraciones gracias a la membrana, que no deja escapar bacterias, con lo cual permite un control perfecto sobre la edad del fango y los parámetros operacionales.
- En el caso de los sistemas MBR la calidad del agua depurada es muy buena y puede permitir la reutilización del agua.
- Los porcentajes de eliminación de DQO, DBO y sólidos en suspensión son muy altos, llegando a ser en muchos casos del 95, 98 99 por 100 respectivamente.

- La ocupación física de estos sistemas es menor frente a los sistemas biológicos convencionales. Se puede hablar de una reducción de espacio superior al 30%.
- La tecnología MBR permite absorber variaciones y fluctuaciones de la carga hidráulica y orgánica del sistema.
- La membrana puede retener material soluble de elevado peso molecular, aumentando si tiempo de retención, mejorando así la oportunidad de su biodegradación en el reactor biológico.
- Según varios estudios los MBR producen menos fango que los sistemas de fangos activados convencionales. La alta edad del fango frecuentemente utilizada en este proceso explica esta ventaja.

Desventajas

- Los costes de explotación y de inversión de la opción MBR es mayor que para el caso de los reactores biológicos convencionales, son superiores tanto a la alternativa propuesta de aireación prolongada y a la escogida SBR.
- El coste de explotación es superior debido principalmente al mayor consumo energético y coste de las membranas.
- Vida útil de las instalaciones de las instalaciones corto frente a los sistemas convencionales la vida media de las membranas es de unos 10 años.
- Gran coste de mantenimiento, los recambios son más caros que en otros sistemas. Es preciso limpiar las membranas periódicamente.

Conclusiones

El biorreactor aeróbico de membrana es un proceso muy atractivo para aguas residuales industriales biodegradables de alta concentración, por la alta calidad del efluente que permite su reutilización dentro de las instalaciones industriales.

Aunque es un sistema cada vez más empleado en la industria y hay algunos ejemplos recientes en los que se ha empleado esta alternativa para la depuración de aguas procedentes de mataderos en este proyecto se ha descartado esta opción por los siguientes motivos:

- Coste Superior tanto de inversión como de explotación respecto a la solución escogida.
- Si bien es cierto que el rendimiento de depuración que se puede obtener es mayor con este sistema que con nuestra solución escogida, en el caso particular objeto de este proyecto no compensa el sobre coste que hay que pagar para ello, Debido a que el efluente a la salida de tratamiento de depuración va a ir a parar a la red de alcantarillado Municipal y no, a cauce público, no es preciso obtener rendimientos superiores del 95%. Para cumplir los límites de vertido legales en el caso del proyecto es necesario unos grandes porcentajes de eliminación próximos al 90%, con el tratamiento escogido vamos a demostrar que cumplimos las exigencias legales.
- La gran ventaja que nos proporciona el sistema MBR que es la posible reutilización de las aguas no la vamos a poder aprovechar puesto que como acabamos de mencionar las aguas van a verterse a los colectores que recogen las aguas Municipales que con posterioridad serán sometidas a otros tratamiento depurativo.
- Salvo que no quede más remedio por motivos de espacio por tratarse de emplazamientos urbanos se considera más conveniente para este caso otro tipo de tratamientos.

7.2 AIREACIÓN PROLONGADA

El proceso de aireación prolongada es una variante de fangos activados que trabaja en un rango de carga másica baja con alto tiempo de residencia hidráulica lo cual potencia los procesos de respiración endógena siendo como consecuencia de ello la cantidad de lodos purgados en exceso menores con un contenido de materia orgánica biodegradable más baja.

Se suelen optar por configuraciones sencillas de depósitos.

Ventajas de Aireación Prolongada

- Sencillez funcionamiento
- La Recirculación Mejora la calidad del agua tratada

- Carga Másica baja en relación con los procesos convencionales de fangos activos, por tanto los tiempos de Retención son elevados, y la edad del fango también.
- Los fangos se encuentran digeridos y estabilizados pudiendo ser enviados a la fase de Centrifugación del tratamiento de Lodos.
- Los largos tiempos de retención hidráulicos proporcionan buena resistencia a los efectos de choques de contaminación, variaciones de pH

Desventajas

- La gran cantidad de fangos que se están manejando durante todo el proceso requiere de un mantenimiento periódico.
- Aporte energético elevado debido a las altas necesidades de aireación.
- Mayor Superficie necesaria dada la necesidad de la instalación de un decantador Secundario, y por los tiempos de Retención elevados.
- Coste de inversión y tratamiento elevado
- Consumo energético elevado

*(información basada en la información contenida en la web:
<http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/ciencias-ambientales/respuestas/1041821/aireacion-prolongada>)*

7.3 ALTERNATIVA LAGUNAS

Este proceso de depuración consiste en hacer que las aguas permanezcan durante un tiempo prolongado en uno o varios estanques de profundidad variable, en los cuales se produce la depuración de las aguas por el fenómeno físico de la decantación de la materia sedimentable y sobre todo, gracias a la degradación biológica de la materia orgánica por medio de una cantidad reducida y específica de microorganismos.

Según sea el sistema de aireación natural o artificial, puede hacerse una primera clasificación de las lagunas en naturales y artificiales. A su vez, las lagunas naturales, según las condiciones predominantes (de oxígeno) y, por consiguiente, según el tipo de bacterias presentes, pueden ser de tres tipos: anaerobias, facultativas y aerobias.

Los distintos tipos de lagunas suelen combinarse entre sí dando lugar a diversas líneas de tratamiento, obteniéndose así la depuración del agua mediante lagunaje múltiple.

Las líneas de tratamiento más frecuentes son las siguientes:

- · Facultativa
- · Facultativa + Aerobia
- · Facultativa + Facultativa + Aerobia
- · Anaerobia + Facultativa
- · Anaerobia + Facultativa + Aerobia

Esta tecnología no suele emplearse para el tratamiento de aguas residuales industriales, pues presenta una serie de inconvenientes que a continuación se detallan:

El mayor de los problemas que presenta este sistema respecto de la solución adoptada (sistema SBR) es el espacio, pues es necesario un terreno lo suficientemente amplio para disponer dichas lagunas que permitan el tratamiento de las aguas residuales.

Además, existe una mayor presencia de olores en comparación con la tecnología adoptada. Es necesaria una buena impermeabilidad de las balsas contra el riesgo de contaminación de acuíferos próximos.

Por último, las condiciones climatológicas son más específicas que en la tecnología SBR.

7.4 ALTERNATIVA SISTEMA DE BIODISCOS ROTATORIOS.

Los Biodiscos son tratamientos de oxidación orgánica mediante bacterias fijas en un medio soporte. Como su nombre indica el soporte son unos discos, generalmente de PVC, Polietileno o Polipropileno, que están girando parcialmente sumergidos en el agua residual y que sirven de soporte para que las colonias de bacterias se adhieran y formen una BIOMASA constante y confinada a una superficie determinada, de modo que si no se producen desprendimientos por mal funcionamiento o vertidos accidentales que contengan tóxicos inhibidores, se trata de sistemas muy estables y con escasas variaciones en su rendimiento.

Los Biodiscos están girando a la vez que están parcialmente sumergidos, de manera que en su recorrido de 360°, una partícula recorre todas las fases posibles; desde las totalmente aerobias cuando esta fuera del agua residual hasta las anaerobias cuando está sumergido, y por supuesto, interfases anóxicas que corresponden a zonas intermedias. La limitación del tamaño está en el diámetro de los discos y en la longitud del eje.

Los Biodiscos deben estar siempre cubiertos, ya que la película biológica es sensible a las precipitaciones atmosféricas, así como a las bajas temperaturas. Por lo que sería necesaria la disposición de una cubierta debidamente impermeabilizada.

Esta tecnología exige un mayor control del vertido ya que la presencia de un producto tóxico o inhibidores podrían destruir la biopelícula. Siendo esto, como se ha comentado anteriormente difícil de llevar a cabo en este tipo de industrias.

Por último y a diferencia de la tecnología SBR, es necesario para su control de un técnico especialista. La cualificación para el mantenimiento de este sistema es mayor.

Ventajas:

- Principal ventaja es su reducido consumo energético debido a que no necesitan aporte de oxígeno no necesitan instalar analizadores de oxígeno disuelto con el consiguiente ahorro económico y simplicidad de la instalación. En comparación con un sistema de aireación Prolongada el coste energético es bajísimo
- Facilidad de ampliaciones
- Reducción de ruidos y olores

Desventajas:

A continuación haremos un breve resumen de las desventajas que constituiría la implementación de este tipo de sistema:

- Como se ha mencionado antes la necesidad de Material de Soporte Específico
- Mayor superficie necesaria, al ser necesaria la instalación de un Decantador Secundario.
- Diseño Mecánico riguroso.

- Coste elevado en la instalación.

7.5 ALTERNATIVA ANAEROBIA UASB

Reactor UASB (upflow Anaerobic Sludge Blanket), es un tipo de biorreactor que opera en régimen continuo y flujo ascendente, donde el influente entra por la parte inferior del reactor y fluye hacia arriba donde entra en contacto con los microorganismos situados en la capa de lodos produciéndose una degradación de los compuestos orgánicos obteniendo gas metano como consecuencia de estas reacciones.

Son bastante empleados para el Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Inicialmente fueron diseñados para el tratamiento de aguas industriales con una concentración de materia orgánica media alta. En el tanque se puede distinguir tres zonas:

- Zona de entrada: en la que el efluente es uniformemente distribuido en la base del reactor.
- Zona de digestión: El efluente pasa a través de un lecho de bacterias anaerobias donde los contaminantes son degradados y transformados en gas.
- Zona de sedimentación: Tiene lugar en la parte superior del reactor y es donde tiene lugar la separación del gas, sólido y líquido.

Se utiliza en aguas que llevan sólidos biodegradables suspendidos, para la aplicación de este sistema los lodos han de ser finos, estar sueltos y tener una densidad indicada para que floten.

Descripción de la planta

Una planta para el tratamiento biológico mediante un reactor UASB se compondría de los siguientes elementos:

- Calentamiento del influente a 36° C mediante intercambiador de calor y caldera de gas.
- Depósito de recirculación para mezcla con el efluente tratado y adición de reactivos
- Bombeo de alimentación
- Reactor anaerobio UASB

- Hidróxido sódico para ajustar el pH
- Ácido fosfórico para paliar la carencia de fósforo del vertido
- Cloruro férrico o sulfato férrico para la precipitación del azufre.

Línea del biogás

- Módulos para recolección y purificación del biogás
- Gasómetro de 100m³ de doble de membrana
- Antorcha para quemado de gas sobrante
- Soplates para alimentación de gas a caldera

Existen Sistemas Mixto REACTOR UASB+FILTRO PERCOLADORES

Ventajas

- Tiene buen comportamiento ante variaciones de Carga.
- Es necesaria menos cantidad de aporte de oxígeno, por no decir ninguna, con lo que ello supone un ahorro energético.
- El conjunto ocupa poca Superficie
- No necesita material de soporte
- Genera menos cantidad de Lodos parte de la energía va destinada a la formación de Metano, aproximadamente sólo un 5 por ciento de carbono orgánico se transforma en biomasa
- Elevadas Capacidad de Tratamiento, hasta 2,5kg DBO/m³. Esto permite tener un gran éxito en la Industria Alimentaria.
- Aprovechamiento del gas producido y puede ser utilizado como fuente energética. Una de las ventajas de los sistemas anaerobios es la de la producción de un producto de alto valor energético, el denominado biogás, compuesto de metano y dióxido de carbono. La tasa específica de producción de biogás es muy alta en los procesos UASB, estimándose que se puede lograr producciones de hasta 0,5-0,6m³ por kg de DQO total eliminada.

Con relación a la calidad del biogás producido, es buena en cuanto a lo que a contenido de metano se refiere, oscilando el mismo en un rango del 65 al 80%. El principal problema del biogás es el contenido en H₂S que presenta.

El biogás se puede emplear usándose en el calentamiento del influente que llega a la planta, quemándolo en una caldera, mientras el sobrante se quema en una antorcha. Una vez asegurados unos bajos valores de sulfuros se puede plantear su aprovechamiento mediante un sistema de cogeneración.

Inconvenientes

- Los Tanques UASB necesitan de la implantación de un Intercambiador de Calor.
- Si la biomasa es muy biodegradable resulta un Tiempo de Residencia muy pequeño disminuyendo su efectividad.
- En aguas residuales con elevada cantidad de grasas como es el caso de la industria cárnica producen gran pérdida de biomasa.
- Proceso lento, requiere de un periodo previo de arranque, esta puesta a punto supone en ocasiones largos periodos.
- Requiere grandes cantidades de producto a degradar.
- Dificultad de mantener las condiciones hidráulicas necesarias.

En el caso de mataderos, no suele realizarse una depuración biológica anaerobia de las aguas residuales, sin embargo este proceso sí que se emplea para la digestión de los fangos con el fin de obtener un producto aséptico.

8. JUSTIFICACIÓN SOLUCIÓN TRATAMIENTO BIOLÓGICO ESCOGIDO

Para la elección del tratamiento se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- Las características del agua a tratar.
- Parámetros de Contaminación.
- Optimización de la superficie
- Caudales del agua.
- Características del afluente según legislación vigente.

VENTAJAS SISTEMA ESCOGIDO SBR

Sistema SBR es utilizado normalmente cuando los caudales a presentar son pequeños.

Resultan idóneos cuando las cargas son intermitentes y muy útiles cuando la superficie presenta limitaciones de terreno. Los sistemas SBR son flexibles para adaptarse a cambios de caudales controlando los tiempos de las fases que componen los ciclos de depuración. Se requiere:

- Menor espacio requerido Al realizarse en un mismo tanque todas las operaciones, la superficie es menor. Ahorro de volumen al gestionarse los procesos de manera discontinua. Esto implica reducción de obra civil.
- Menor inversión: Necesidad de menos equipos. (no es necesario bombas de recirculación de fangos)
- Alta eficiencia de eliminación con Tiempos Hidráulicos de Retención (THR) bajos.

Características y Ventajas de los sistemas SBR

- Posible la eliminación de fósforo de manera biológica sin necesidad de productos químicos (coagulantes) incluyendo una fase anaerobia durante el llenado.
- Flexibilidad: En los procesos simples de fangos activados los volúmenes y tiempos de retención suelen ser fijos. En los Sistemas SBR se puede variar la

edad del fango modificando los ciclos. Esto permite variaciones de carga o caudal.

- Posibilidad de realizar un control previo del vertido antes de la descarga
- Menor salida de Sólidos debido a que durante la decantación toda la superficie del reactor actúa como un gran decantador.
- Control para evitar la proliferación de las bacterias filamentosas
- Fácil cumplimiento de la Normativa de la eliminación vertidos contaminantes. En los sistemas SBR se pueden llegar a rendimientos superiores al 98% en eliminación de nitrógeno y fósforo y mayores de 99% en contaminación carbonosa.
- Posibilidad de conversión a sistemas MBR

9. MEMORIA DESCRIPTIVA Y JUSTIFICATIVA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El proceso de depuración está basado en un pretratamiento de Desbaste tanto de medios mediante unas rejillas manuales y otras automáticas como de finos mediante un Tamiz Rotativo. Después de la realización de estas operaciones el vertido se someterá a un tratamiento de flotación por aire disuelto, para posteriormente a continuación ser sometido a un tratamiento biológico SBR para reducir la carga hasta los niveles permisibles de vertido. Por último, los lodos generados en este proceso de depuración, serán sometidos a Deshidratación mediante una centrifuga, con el que aumentaremos la sequedad de los mismos.

La solución propuesta de Tratamiento Diseñado para cumplir los límites de vertido consta de las siguientes etapas:

I LINEA DE AGUA

- **PRETRATAMIENTO**
 - DESBASTE DE GRUESOS
 - POZO DE BOMBEO
 - DESBASTE DE FINOS MEDIANTE TAMIZ ROTATIVO
- **TRATAMIENTO PRIMARIO**
 - HOMOGENEIZACIÓN
 - TRATAMIENTO DE ELIMINACIÓN DE GRASAS D.A.F
- **TRATAMIENTO SECUNDARIO:**
 - Tratamiento Biológico mediante Reactor SECUENCIAL SBR.

II LINEA DE FANGOS

- ACONDICIONAMIENTO DE FANGOS
- ESPESADOR DE FANGOS (físico Químico +biológicos)
- DESHIDRATACIÓN DE FANGOS
- ESTABILIZACIÓN DE FANGOS

En el diagrama de bloques anexo a continuación se identifican las distintas etapas de depuración, cuya descripción se adjunta más adelante, que tendrán lugar tanto para La Línea de Aguas como para la de Fangos.

ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



9.1 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO PROPUESTO

En este punto se van a describir los elementos que van a componer cada una de las etapas que van a tener lugar en nuestro Tratamiento de Depuración.

A continuación se describen las distintas etapas que acabamos de citar que van a componer el tratamiento de aguas residuales diseñado para cumplir los límites de vertido exigidos.

9.1.1 PRETRATAMIENTO

La línea de agua residual procedente del matadero se desvía mediante una conducción de tuberías de hormigón para dirigir el agua residual hasta una arqueta de reparto.

Con esta desviación desde la arqueta de salida de aguas residuales del matadero, se introduce el agua a tratar en el primer punto de la Estación Depuradora.

- DESBASTE

El canal de desbaste es la primera etapa de la depuración. Una gran cantidad de la contaminación que arrastran las aguas del matadero está constituida por pequeños trozos de carne o piel, así como partículas de grasa, pelos, etc... La misión de este canal de desbaste es extraer todos estos contaminantes suspendidos de la corriente de agua, sirviendo, de paso, como protección a los equipos posteriores del sistema de depuración.

En este canal el agua pasa por una reja de medios de **8mm** consiguiendo así la eliminación de materias presentes de gran tamaño cuya presencia no se preveía en el agua residual.

Los residuos obtenidos son trasladados mediante una cinta transportadora hasta una prensa mecánica donde son compactados reduciendo el volumen de residuos generados.

El agua se conduce por gravedad hasta el pozo de bombeo dispuesto a continuación.

- POZO DE BOMBEO

El pozo de bombeo es el encargado de enviar agua residual al resto de la Estación Depuradora. Desde aquí se eleva el agua hasta el Tamiz Rotativo.

En el pozo de bombeo están colocadas dos bombas sumergibles: la primera de ellas trabaja a caudal medio y la segunda se acciona cuando se producen sobrecaudales, siendo cada una de ellas, capaces de elevar el caudal punta establecido y ser utilizadas independientemente como bombas de reserva.

- **TAMIZADO**

El Tamiz rotativo está ubicado sobre una estructura metálica de soportes a una altura sobre el nivel del suelo de 1,5m. Durante esta etapa se consigue eliminar los sólidos con un tamaño superior a 1mm.

Tras el tamizado el agua se conduce por gravedad hasta el tanque de homogeneización

9.1.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

- **HOMOGENEIZACIÓN**

El agua procedente del tamiz rotativo se recoge en la balsa de homogeneización. La homogeneización es una medida que se emplea para superar los problemas de explotación que las variaciones de caudal provocan en las instalaciones y para mejorar la efectividad de los procesos de tratamientos. El agua se mantiene en constante movimiento por la actuación de un agitador sumergible, evitando así la posible sedimentación de la carga contaminante, manteniendo las condiciones aerobias del vertido mediante un aireador sumergible autoaspirante.

Se trata de un depósito realizado en PRVF con el fondo plano y abierto. Cuenta con vaciado y tubo de rebose interno.

- **NEUTRALIZACIÓN**

La neutralización de la carga del vertido se produce en la balsa de homogeneización. Ajustaremos el pH del agua mediante adición de Ácido Sulfúrico y Sosa. Dos bombas dosificadoras se encargarán de suministrarlo según proceda e indique el medidor de pH.

- **AEROFLOTACIÓN (DAF)**

Se opta por el tratamiento de eliminación de grasas mediante aire disuelto (DAF) con el objetivo de la eliminación en un alto porcentaje (Superior al 70%) de la materia grasa presente en el agua. El tanque donde tendrá lugar el proceso tendrá forma piramidal y estará construido en Acero Inoxidable.

El mecanismo para la separación de las grasas y aceites en los sistemas de flotación se consigue introduciendo microburbujas de gas en la fase líquida que al adherirse a las partículas floculadas forma un conjunto Partícula-burbuja que asciende hasta alcanzar la superficie donde es retirada por medio de rascadores. La materia grasa flotante eliminada se recoge en un pozo de flotantes contiguo.

El agua tratada mediante el proceso de aeroflotación se dirigirá por gravedad hacia el reactor biológico.

9.1.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico consistirá en una variante de fangos activos denominada SBR (cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. En este tipo de reactores tanto el proceso de oxidación biológica como el de clarificación del efluente tienen lugar en el mismo depósito.

El objetivo del proceso biológico es la eliminación, estabilización o transformación de la materia orgánica, presente en las aguas como sólidos no sedimentables. Esta acción se logra por la acción de los microorganismos presentes, mediante dos acciones complementarias entre sí: metabólica y físico-química.

Los hongos y las bacterias son los encargados de la descomposición de la materia orgánica y son elementos que garantizan la permanencia de la vida, manteniendo los ciclos esenciales de nitrógeno y carbono.

El reactor en el que se llevará este tratamiento tendrá forma rectangular, siendo su base de tipo piramidal para facilitar la decantación de los lodos.

La agitación y la aireación se realizara mediante Turbinas Sumergidas y Soplantes cuya función será la de provocar una buena aireación del agua asegurando una buena mezcla del efluente.

Una vez acabado la última fase del ciclo operativo, el agua clarificada es extraída mediante bombas centrifugas para posteriormente trasladarse por gravedad hasta la arqueta central donde el agua depurada es transportada al Sistema Integral de Saneamiento.

Por otro lado los fangos decantados se bombean hasta el Espesador de fangos, para reducir la cantidad de agua presente en los mismos y así facilitar una mejor evacuación de la planta.

9.1.4 TRATAMIENTO DE FANGOS

- ACONDICIONAMIENTO DE FANGOS

Para una buena deshidratación posterior se procederá al acondicionamiento del fango dosificando Polielectrolito en línea para favorecer la floculación utilizando para ello un polielectrolito catiónico.

La mezcla fluido polielectrolito se puede realizar en planta mediante un mezclador estático donde se inyecta polielectrolito diluido.

- ESPESAMIENTO DE FANGOS

Los lodos sedimentados en el reactor biológicos son bombeados hasta el espesador de Gravedad, la función que se persigue es una reducción del volumen de fango.

El espesador consiste en una cuba cilíndrica en cuyo interior van colocados brazos con rasquetas, siendo su función la de concentrar los sólidos y conducirlos por su parte central de fondo cónico del espesador.

Su misión y modo de funcionamiento es similar a la de un decantador, con la diferencia que las concentraciones de sólidos en suspensión son superiores en el espesador de fangos.

El fango depositado en el fondo del espesador será posteriormente enviada hasta el equipo encargado de la deshidratación de los fangos.

- **DESHIDRATACIÓN DE FANGOS**

Una vez espesados y previamente a ser introducidos en la centrifugadora de fangos estos pueden ser tratados químicamente con un polietrolito catiónico.

La centrifugadora se compone de un tambor Cilíndrico-Cónico que gira sobre el eje horizontal. En el interior del tambor la parte más pesada se deposita en el interior donde es arrastrada por un tornillo helicoidal que gira a distinta velocidad que el Tambor.

Obtenemos dos productos, por una parte la Torta de fangos que debido al proceso llevado a cabo tiene una mayor concentración de sólidos sedimentables, y por otra agua clarificada.

- **ESTABILIZACIÓN**

Esta etapa tiene como objetivo convertir los fangos en un producto estable para su posterior evacuación o uso. Gracias a este proceso se reduce la cantidad de patógenos y se disminuyen los olores.

El fango resultante de esta operación podrá ser llevado a un vertedero, si bien se le pueden dar otro tipo de usos.

9.2 MEMORIA JUSTIFICATIVA

En este apartado se explicarán los motivos por los que se ha decidido escoger en el proyecto cada uno de los elementos citados que componen el diseño de la depuradora entre las distintas opciones disponibles.

- **DESBASTE**

Como se ha comentado anteriormente, en cualquier tratamiento de depuración, es necesario un *desbaste* para separar los Sólidos gruesos, evitando posteriores obstrucciones en las bombas sumergibles.

Si la cota de llegada es Superficial se pueden colocar Rejas de desbaste Manual.

- **POZO DE BOMBEO**

Tipo de bomba recomendado y utilizado es *centrifuga sumergible*, por su facilidad operativa en cuanto a instalación y mantenimiento.

- Material de las bombas acero inoxidable.

El tipo de rodete es *Vórtex* para que se evite cualquier tipo de problema de atascamiento. Este rodete deja libre un paso de sólidos entre 60mm y 100mm, ya que impulsa el agua gracias a un vórtice o remolino del agua en el interior del cuerpo de la bomba. Estas bombas pueden ser extraídas y montadas sin necesidad de vaciar el pozo de bombeo.

El nivel de funcionamiento estará controlado por boyas a nivel que serán tres:

- Nivel Paro: Se deja a una altura del fondo tal que la bomba sumergible esté cubierta por el agua.
- Nivel Marcha: Con este nivel arranca la bomba
- Nivel Alarma: Colocado justo debajo del rebosadero.

- **TAMIZADO**

Debido al elevado contenido en el agua residual de materias de baja densidad como Grasas y de pequeño tamaño se hace casi imprescindible la instalación de este equipo en casi la Totalidad de Mataderos.

El Bajo Contenido en materias de peso elevado, implica que tardarían mucho tiempo en Decantar, es uno de los varios motivos por los que en nuestro diseño hemos prescindido de un Decantador Primario, optando en su lugar por la instalación de un Tamiz. Otro motivo sería el ahorro de espacio que implica el prescindir de esta unidad.

Respecto a los decantadores la instalación de un Tamiz supone un menor coste que un Decantador.

Entre las ventajas que nos proporciona el empleo de esta unidad son la de una mayor simplicidad, Eliminación de Malos olores así como la Obtención de un residuo seco. Los rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión y DQO son superiores a los obtenidos con un decantador primario.

Entre los dos tipos de Tamices más comúnmente empleados: Estáticos y Rotativos, hemos optado por uno rotativo, el motivo no es otro que el relativo a la pérdida de Carga que es bastante mayor en el caso de los estáticos. La desventaja que conlleva el accionamiento mecánico del Tamiz Rotativo, cosa que no ocurre en el estático. Es poco sensible puesto que al trabajar a bajas revoluciones el tambor que forma parte del Tamiz implica una instalación de un Motorreductor de poca potencia.

- HOMOGENEIZACIÓN

El empleo de un tanque de Homogeneización en este tipo de industrias con caudales relativamente bajos y altas cargas contaminantes es muy útil y proporciona grandes ventajas tanto económicas como operacionales.

En industrias que no funcionan durante 24 horas al día el empleo de este tipo de instalaciones nos proporciona un caudal continuo a lo largo de todo el día, esto es muy importante porque a la hora de diseñar el Tratamiento Biológico nos va a permitir el que el dimensionamiento del Tanque en el que tiene lugar dicho proceso tenga un volumen menor, asimismo va a favorecer el correcto funcionamiento del mismo.

El tanque de Homogeneización tiene que estar situado con posterioridad al pretratamiento para evitar problemas de sedimentaciones de sólidos de gran tamaño. En nuestro diseño se ha situado antes del Tratamiento de eliminación de grasas aunque perfectamente podría haberlo situado después de éste.

En el homogeneizador estará presente un sistema de agitación para evitar problema de olores y decantaciones. Para la agitación no hemos usado difusores por posibles problemas de atascamiento.

La neutralización del vertido la realizamos en este mismo tanque por simplicidad y ahorro de espacio.

- DESENGRASADOR

En la mayoría de Depuradoras Convencionales se incluyen en una misma Unidad un sistema Desarenador-Desengrasador. Debido a la presencia prácticamente nula de arenas en el vertido se puede incluir un Sistema de Raquetas de Fondos para extraer las

posibles arenas existentes así como los restos de materia Orgánica. Por tanto la unidad escogida en nuestro proyecto estará compuesta exclusivamente por un Desengrasador.

En cualquier Tratamiento de aguas residuales de industrias Agroalimentarias tiene que estar presente una etapa para la separación de aceites y grasas. Por el tipo de industria el agua residual suele presentar elevadas cantidades de grasas, éstos son elementos lentamente biodegradables que van a dificultar la eliminación de la DBO. Van a empeorar la aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia, por lo que se requiere de este tratamiento antes de proceder con el tratamiento biológico

Entre los distintos sistemas empleados para el tratamiento de eliminación de grasas se ha optado por un **Sistema de Flotación** por tratarse de un sistema más rápido y eficaz que los Sistemas por gravedad debido a la alta velocidad ascensional del conjunto formado Partícula-burbuja. Es el más empleado, entre las distintas opciones disponibles en el mercado se ha escogido el Sistema de Flotación por aire disuelto DAF, por disponibilidad. Es muy común encontrar este modelo en este tipo de industrias, por lo que existe un amplio número de fabricantes que implementan este tipo de soluciones, sin necesidad de realizar apenas obra civil.

- **TRATAMIENTO BIOLOGICO SBR**

El uso único de un sistema físico-químico en aguas procedentes de mataderos no suele proporcionar una reducción suficiente en nitrógeno orgánico ni amoniacal. Esta modalidad permite una reducción de sólidos en suspensión de aceites y grasas siendo la disminución del resto de parámetros bastante más baja. Por ello se hace casi imprescindible la implantación de otros tratamientos.

Entre los múltiples tipos de tratamientos posibles, por las características de este tipo de aguas que suelen ser muy Biodegradables y con un alto contenido de materia orgánica, lo más recomendable es el empleo de un Tratamiento Biológico.

Si la planta está bien dimensionada el modelo de depuración aerobio de Fangos Activos permite obtener rendimientos de eliminación necesarios.

Entre las distintas modalidades de Fangos Activos, en el punto Anterior se han indicado las ventajas y motivos por los cuales se ha decidido el empleo de este sistema. En el diseño del Reactor se pudo hacer una fase de Desnitrificación durante la etapa de

llenado en caso de tener Puntas de Nitrógeno. En la configuración inicial no tendremos en cuenta esta etapa.

- **TRATAMIENTO DE FANGOS**

- ***ESPESADOR DE FANGOS***

El empleo de este tipo de equipos tiene una finalidad doble, por una parte concentrar los fangos, disminuyendo así el volumen que ocupan, y por otra conseguir su mezcla y homogeneidad. Para dicha operación hemos optado por un espesador de fangos de flujo horizontal, cubierto para evitar problemas de malos olores.

- ***DESHIDRATACIÓN DE FANGOS***

Se ha optado para esta etapa por un espesador por centrifugación del tipo “*Camisa Maciza*”, que se utiliza tanto para espesar fangos como para deshidratarlos, por los buenos rendimientos que ofrece, con este tipo de equipos se puede obtener una Torta de fango con un contenido en humedad de entre el 70 y el 80%.

Como inconvenientes, la instalación de este tipo de equipos supone un mantenimiento y costes energéticos. Queda justificada su implementación por el espacio que ocupan, siendo bastante inferior al empleado por los métodos tradicionales.

- ***ESTABILIZACIÓN DE FANGOS***

La estabilización tiene como finalidad reducir la presencia de patógenos y eliminar la aparición de posibles malos olores. Se realiza estabilización con Cal por simplicidad, mediante la adición de ésta en cantidad suficiente se conseguirá elevar el pH. Valores altos de pH crea un entorno que impide la supervivencia de microorganismos.

10. BASE DE CÁLCULO. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIONES

En este punto se van a indicar los cálculos justificativos del dimensionamiento de los elementos más importantes que componen nuestra depuradora, tanto para la línea de Agua como para la de Fangos.

10.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE ENTRADA

Se recuerda nuevamente los datos de Partida que sirven de base para el dimensionamiento de La Estación Depuradora de Aguas Residuales y que son los que se muestran en la siguiente tabla:

PARAMETRO	VALOR
D.Q.O (mg/l)	19040
D.B.O (mg/l)	11440
S.S (mg/l)	8640
Grasas(mg/l)	448
pH	6,2
NTK(mg/l)	736
FOSFORO TOTAL(mg/l)	120

Tabla 10.1 Características del Agua a la entrada de la EDAR

10.2 CAUDAL DE DISEÑO

Uno de los parámetros fundamentales para el diseño y cálculo de plantas de tratamiento de aguas es el caudal de agua a tratar, caudal es el volumen de agua que llega a la depuradora por unidad de tiempo. También es importante tener en cuenta los valores máximos y valores punta.

En la siguiente tabla se muestran los datos de caudal que se tomarán para el diseño. Notar que el valor de caudal medio diario que hemos tomado coincide con el calculado atendiendo al consumo medio de agua según las unidades de Terneros y Cerdos sacrificados en la industria tomada como referencia. Es un poco superior a los datos facilitados ($300\text{m}^3/\text{día}$).

CAUDAL DE DIMENSIONAMIENTO

Caudal diario de diseño (m^3/d)	350
Caudal medio diario 8 horas (m^3/h)	43,75
Factor Punta	1,71
Caudal punta horario (m^3/h)	75

Tabla 10.2 Caudal de agua procedente del Matadero

10.3 LÍMITES DE VERTIDO DEL EFLUENTE (RESULTADOS A OBTENER)

Los niveles de los parámetros de las aguas residuales han de estar dentro de los límites exigidos por el Anexo 2 de la Ley 10/1993 de la Comunidad de Madrid siendo éstos los que a continuación se indican:

Parámetro	Valor Máximo
Temperatura	40 C
pH	6-9
Conductividad	5000 $\mu\text{S.cm}$
Sólidos en Suspensión	< 1000 mg/L
Aceites y grasas	< 100 mg/L
DBO	<1000 mg/L
DQO	< 1750 mg/L
FOSFOTO TOTAL	< 40 mg/L
NTK	< 125 mg/L

Tabla 10.3 Valores Límite del Agua a la salida de la EDAR

I. CÁLCULO DE LINEA DE AGUAS

I.1 PRETRATAMIENTO

I.1.1 POZO ENTRADA DE RECEPCIÓN

El dato de partida para el dimensionamiento del pozo de recepción, así como de las bombas de elevación hasta la unidad de flotación, es el caudal medio diario.

- $Q_{md} = 350 \text{ m}^3/\text{d}$ (8 horas de trabajo)
- $Q_{mh} = 43,75 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Q_{punta} = 75 \text{ m}^3/\text{h}$ (Factor punta 1,7 casi el doble del caudal medio horario)

A continuación se calculará las dimensiones que deberá tener este depósito para un tiempo de retención determinado que estableceremos previamente. La geometría que se ha considerado por simpleza es cuadrada.

El pozo de bombeo estará diseñado para que el agua tenga un tiempo de retención máximo de **10min.** Por tanto el tamaño del depósito será:

$$\text{Volumen retención} = Q_{punta}(\text{min}) * \text{TRH} (\text{min})$$

Siendo:

TRH = Tiempo de Retención Hidráulica

Q_{punta} = Caudal Máximo (m^3/h)

Resulta:

$$\text{Volumen retención} = 75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{60\text{min}} * 10\text{min} = \mathbf{12,5\text{m}^3}$$

El pozo tendrá una Altura útil = **2,5m**

$$\text{Volumen retención} = \text{Altura} \times \text{superficie} \rightarrow \text{Superficie} = \frac{\text{volumen}}{\text{Altura}}$$

$$\text{Superficie} = \frac{12,5}{2,5} = 5\text{m}^2$$

Considerando la geometría más simple en el diseño del pozo de bombeo, cuadrada.

$$\text{Superficie} = \text{Largo} \times \text{Ancho} ; \text{Largo} = \text{Ancho} \rightarrow \text{Largo} = \sqrt{\text{Superficie}}$$

$$\text{Largo} = \sqrt{5} = 2,236 \approx 2,3\text{m}$$

- Altura útil= 2,5m
- Superficie útil = **5,29 m²**

$$\text{Volumen útil} = 2,5 \times 5,29 = \mathbf{13,225\ m^3}$$

$$\text{Volumen físico} = 3,2 \times 5,29 = \mathbf{16,93\ m^3}$$

El material de construcción empleado es Hormigón Armado.

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones del recinto

POZO DE GRUESOS	
Longitud útil (m)	2,3
Ancho útil (m)	2,3
Profundidad útil (m)	2,5
Superficie útil (m ²)	5,29
Volumen útil (m ³)	13,23

Tabla 10.4 Dimensiones de Pozo de Gruesos

- **COMPROBACIÓN**

$$TRH_{QM} = \frac{\text{volumen}}{Q_m} \cdot 60 = \frac{13,29}{43,75} \cdot 60 = 18,22\text{min}$$

$$TRH_{Qp} = \frac{\text{volumen}}{Q_p} \cdot 60 = \frac{13,29}{75} \cdot 60 = 10,63\text{min}$$

Los valores de Tiempo de Residencia Hidráulica tanto para caudal medio como punta que han resultado una vez hemos dimensionado el pozo están dentro de los valores aconsejados. (TRH de más de 10min a caudal medio y de más de 5 min a caudal punta).

I.1.2 DESBASTE DE GRUESOS

En nuestro proyecto el desbaste de gruesos va a ser la primera etapa que se va a realizar en la planta depuradora que estamos diseñando.

Va a estar compuesta por una serie de rejas metálicas cuya misión va a ser la de retener todos los sólidos presentes en el agua residual que vayan a pasar por ellas cuyo tamaño sea superior a la separación de barras.

Tenemos que tener en cuenta los siguientes Criterios de Diseño a la hora de la elección de tipo de reja:

- 1º Separación Libre entre barras (luz)

TIPOS	LUZ (cm)
Gruesas o de predesbaste	>15
Medias	1,5-5
Finas	<1,5

Tabla 10.5 Tipos de Rejas según el Tamaño de Luz

- 2º Sistemas de limpieza. Rejas de limpieza: automática o manual
 - Manual: Son instaladas en EDAR de pequeñas comunidades aunque, actualmente, se tiende a instalar equipos de limpieza automática para facilitar las operaciones y reducir al máximo los trabajos manuales. Se instalan generalmente con un ángulo de inclinación de 70º y se fabrican con barrotes de 10 mm de anchura por 50 mm de

profundidad, con una longitud menor de tres metros para que pueda procederse a su limpieza a mano. Los sólidos recogidos suelen depositarse en una cesta de chapa perforada para separar los escurridos.

Son rejillas equipadas con un peine móvil que periódicamente limpia la rejilla bien por la cara anterior o bien por la cara posterior. Estos sistemas de limpieza se accionan mediante cadenas, cables o sistema hidráulico. Los residuos extraídos se descargan sobre cintas o tornillos transportadores hasta una prensa compactadora (que en la actualidad suele llevar un sistema de lavado de residuos) y finalmente son depositados en un contenedor de residuos para su traslado a vertedero controlado.

- Automática: Las rejillas de limpieza automática suelen ser rectas y pueden tener una altura de hasta 10 m de longitud. En función de la separación entre barrotes tenemos rejillas de gruesos, con luz de paso de 25 a 100 mm, y rejillas de finos, con luz de paso de 10 a 25 mm. El funcionamiento del limpiarrejillas es automático mediante temporización y suele disponerse un sistema (sonda de máximo nivel) que al detectar una subida del nivel de agua acciona el funcionamiento en continuo del equipo hasta desactivarse la medida de nivel. Por tanto, es un sistema combinado de temporización y pérdida de carga.

- 3º Inclinación de las rejillas: Horizontales, verticales, inclinadas o curvas.

Los parámetros de diseño en el cálculo de las rejillas y los tamices son velocidad de paso entre barrotes y ancho del canal. A continuación se muestran las principales características a tener en cuenta en el proyecto de instalaciones de rejillas.

Características	Limpieza Manual	Limpieza Automática
Tamaño de los barrotes		
Anchura (mm)	5-15	5-15
Profundidad (mm)	25-37,5	25-37,5
Luz entre barrotes (mm)	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical (grados)	30-45	0-30
Velocidad de aproximación (m/s)	0,3-0,6	0,6-1,1
Pérdida de carga admisible (mm)	150	150

Tabla 10.6 Características Rejas.

Fuente: http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10584/mod_resource/content/2/desbaste_de_reja_de_gruesos_y_finos.html

Para el desbaste grueso del efluente se emplean rejas de abertura entre 5,0 y 10 cm cuya limpieza se suele realizar manualmente.

La distancia entre barras oscila entre los 1,0 y 5,0 cm. Son las más empleadas en la actualidad puesto que retienen la mayor parte de las sustancias arrastradas que no pueden eliminarse por sedimentación.

- **DIMENSIONAMIENTO REJAS DESBASTE**

Para esta primera etapa se va a realizar el desbaste a través de unas rejas de barrotes, cuya limpieza se lleva de manera manual hemos seleccionado unas rejas cuya luz va a ser de **20mm**.

A fin de mantener el buen funcionamiento Se recomiendan que la velocidad de paso a caudal medio este dentro de los siguientes intervalos:

- $V_p(Q_m) > 0,6 \text{ m/s}$
- $V_p(Q_m) < 1,2 \text{ m/s}$

Una velocidad excesiva podría forzar el paso de los sólidos mientras que una insuficiente puede suponer una decantación de los restos.

La velocidad de paso de diseño que tomaremos como referencia a Caudal Medio será de **0,8 m/s**

El dimensionamiento del ancho de canal en la zona de rejillas se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$b = \left(\frac{c}{s} - 1 \right) * (s + a) + s$$

En donde:

- a: Ancho de los barrotes de la rejilla (mm)
- b: Ancho del canal en la zona de rejilla(mm)
- c: Ancho del canal de entrada (mm) (Antes de las rejillas).
- S: separación útil entre barrotes

Teniendo en cuenta los valores escogidos que se muestran en la tabla de abajo:

PARÁMETRO	Valor escogido (mm)
Ancho del Canal a la entrada c	300
Ancho de los barrotes de la rejilla a	8
Separación libre entre barras (Luz) S	20

Tabla 10.7 Dimensiones Rejas Seleccionadas

$$b = \left(\frac{300}{20} - 1 \right) * (20 + 8) + 20 = \mathbf{412mm}$$

Nivel aguas arriba de la rejilla podemos calcular la sección útil de paso para un grado de colmatación determinado mediante la siguiente expresión:

$$s_{canal} = \frac{s+a}{s} * \frac{Q_P}{V_P} * \frac{1}{K} * \sin \alpha$$

En donde:

- Q_p = Caudal punta
- Alfa= Ángulo de inclinación de las rejillas
- V_p = velocidad de paso
- G= Grado de colmatación máximo admisible
- K= Coeficiente de colmatación = $\left(\frac{100 - G}{100}\right)$

PARÁMETRO	VALOR
Caudal punta Q_p	45 m ³ /h= 0,012m ³ /s
Velocidad de paso V_p	0,8m/s
K	0,7
Angulo de inclinación α	70%

Tabla 10.8 Parámetros Dimensionamiento canal desbaste

$$s_{canal} = \frac{20+8}{20} * \frac{0,012}{0,8} * \frac{1}{0,7} * \sin 70 = \mathbf{0,0285m^2}$$

Teniendo en cuenta que:

$$s_{canal} = \text{Ancho de canal } (Ac) * \text{Altura laminal agua}$$

$$\text{Altura laminal agua} = \frac{s_{canal}}{\text{Ancho de canal } (Ac)} = \frac{0,0285}{0,412} = \mathbf{0,069m}$$

$$V \text{ aprox } Q_m = \frac{\text{Caudal medio } Q_m}{\text{Sección Útil } s_{\text{canal}}} = \frac{0,0208}{0,0285} = \mathbf{0,726m/s}$$

El número de de barrotes necesarios lo calculamos de la siguiente expresión:

$$\text{Número de rejillas} = \left(\frac{b - c}{a + c} \right)$$

$$\text{Número de rejillas} = \frac{400 - 20}{8 + 20} = 14 \text{ barras}$$

La pérdida de carga que experimenta el agua a su paso por las rejillas se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$hL = \beta \left(\frac{a}{s} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{V_p}{2g} \right)^2 * \sin \alpha$$

$$hL = 1,67 \left(\frac{8}{20} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{0,8}{2 * 9,8} \right)^2 * \sin 70 = 1,15$$

En donde:

$\beta = 1,67$ Para barrotes con ambas caras semicirculares

g = Valor de la gravedad

Nivel aguas abajo = Nivel aguas arriba – Pérdida de carga (hL) = $6,90 - 1,15 = \mathbf{5,75}$

El canal de desbaste tiene una longitud aproximada de tres metros diferenciando dos zonas, una de aproximación y otra donde se ubica la reja de desbaste.

La siguiente tabla muestra un resumen correspondiente a la zona de desbaste.

DESBASTE	ZONA APROX	ZONA REJILLA
Ancho	30 cm	41,2cm
Altura	70cm	70cm
Longitud	1,5 m	1,5m
Pendiente	3%	3%

Tabla 10.9 Dimensiones Canal de Desbaste

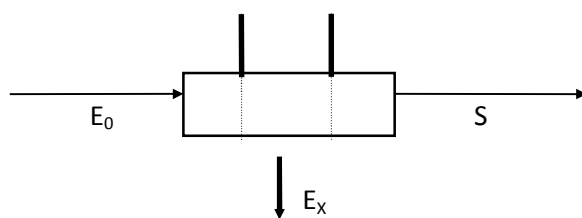
Rejas manuales

- Número de barras: 14. Forma rectangular con caras semicirculares
- Separación entre barras: 20mm
- Espesor barras : 8mm
- Material = acero al carbono

Reja automática

- Limpieza peine rascador
- Número de peines 2
- Velocidad 2 r.p.m.
- Material = Acero

- **BALANCE DE MATERIAS ELIMINACIÓN DE RESIDUOS DESBASTE**



E_0 :	Corriente de entrada
S :	Corriente de salida
E_x :	Extracción de sólidos
Q :	caudales

Se considera un canal de desbaste equipado con unas rejas de 8mm. Se pretende una eliminación de entre el 3 y el 10 % de los SS en la corriente de agua. A nivel de cálculo, se despreciarán las pequeñas reducciones en DBO₅ y grasas que pudiera conllevar la extracción de sólidos en las rejas.

Haciendo balance de materias resulta:

$$E_x = E_0 * \% \text{eliminación Sólidos}$$

$$S = E_0 - E_x$$

Se estima que con las rejas de desbaste se reduzca la SS en **un 3%**. Por tanto:

$$E_x = 8640 \frac{kg}{día} * 3\% = 259,2 \frac{kg}{día} de SS$$

Suponiendo que en las rejillas de desbaste queden retenidas un 3% de SS en el agua quedarán todavía contenidos en el agua el 97% restante.

$$S = 8640 \frac{kg}{día} - 259,2 \frac{kg}{día} = 2514,24 \text{ kg de SS/d}$$

Opciones de destino de los residuos retenidos en las rejillas:

- Incorporación al sistema público de recogida de basuras: sólo en pequeñas instalaciones
- Enterramiento, sólo en pequeñas instalaciones, zanjas de 1m de profundidad, capas de residuos de 20cm de espesor, mineralización en 5 años.
- Incineración, previo secado previo

Para recoger esos 259,2 kg de SS generados se dispondrá de un contenedor

Para la evacuación de los residuos se dispondrá de unas cintas transportadoras que llevarán los residuos a unos contenedores.

* Mediante la instalación del tamizado se pretende la eliminación de más 15% de los SS presentes en el agua, para ello se empleará una malla con un tamaño de luz de 1mm

I.1.3 POZO DE BOMBEO

- DIMENSIONAMIENTO DEL POZO DE BOMBEO:

Los pozos de bombeo tienen como finalidad principal el transporte de aguas residuales de un punto a otro, entre los que no existe la necesaria diferencia de cotas para que pueda realizarse el vertido por gravedad, y existiendo la imposibilidad de realizar un bombeo directamente por distintos motivos, debiendo por tanto colocar un pozo que acumule el vertido.

El volumen útil de pozo de bombeo viene establecido por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{0,9 \cdot N(2,4 \cdot Q)}{Z}$$

En donde:

V: Volumen mínimo del pozo (m³)

Q: caudal Medio Horario (m³/s)

Z: Número de arranques/hora

N: Número de bombas que funcionan a la vez

Elección de cada uno de los parámetros de la ecuación:

- Qm Es el caudal medio horario de aportación de las aguas que se toma para el diseño del pozo de bombeo.
El caudal medio horario que se toma para el diseño del pozo de bombeo es de Qmh = 43,75 m³/h.
- N: se van a instalar 2 bombas en paralelo que funcionaran alternativamente, siendo una de seguridad para casos de avería o labores de mantenimiento. Por lo que en este caso N será siempre igual a 1, aun existiendo dos bombas instaladas.
- Z: El número de arranques/hora de una bomba o motor en general, no debe superar un valor límite ya que esto supondría un calentamiento excesivo del motor, deterioro del aislamiento del bobinado y quemado del mismo.

Se ha tomado como valor **Z = 8**.

Por tanto el volumen es:

$$V = \frac{0,9 \cdot 1(2,4 \cdot 43,75)}{8} = \mathbf{11,82m^3}$$

Se va a considerar un volumen propio de las bombas y de los elementos constructivos dentro del pozo de aproximadamente 0,2 m³.

El volumen de referencia que tomaremos será **12m³**

Por tanto el volumen útil necesario para el pozo de bombeo que tomaremos como valor referencia **de 12 m³**

La geometría del pozo va a ser cuadrada, Mínimo de Ancho 2metros.

Por otro lado, dotamos al pozo de un resguardo inferior de 0,5 metros y de un resguardo superior de las mismas dimensiones. A lo que hay que sumar 1,5m de altura,

De esta forma se tiene que el volumen total del pozo es de 12m^3 .

Las dimensiones de la recepción del pozo de bombeo son:

-Ancho: 2,20

-Largo: 2,20 m

- Alto: 2,50 m

Volumen $12,10\text{m}^3$

- **TIEMPO DE RETENCIÓN:**

El tiempo de retención mínimo del agua en el pozo viene dado por:

$$TR = V / Q_{\text{punta}} = 12/75 = 0,16\text{h} = 9,6\text{min}$$

De esta forma, se tiene un tiempo de retención en este caso de 9,6 minutos, debiendo estar el valor comprendido entre los 10 minutos mínimos y los 60 máximos.

Si consideramos un tiempo de retención de 12 minutos (0,2 horas) resulta que el volumen debe ser de 15m^3 , manteniendo la altura del pozo y la forma geométrica cuadrada considerada inicialmente para el mismo resulta que para conseguir el nuevo volumen, el tamaño de largo y ancho es de 2,45m aproximándolo a 2,50m resulta un volumen total **de $15,625\text{m}^3$**

POZO DE BOMBEO

Longitud útil (m)	2,5
Ancho útil (m)	2,5
Profundidad útil (m)	2,5
Volumen útil (m^3)	15,625

Tabla 10.10 Dimensiones Pozo de Bombeo

- **DIMENSIONAMIENTO DE LAS BOMBAS:**

En el diseño de las bombas se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Número de unidades
- Características del líquido
- Caudal de servicio
- Altura de elevación
- Tipo de bomba
- Situación de la instalación

Para la elección de las bombas se deberá determinar la altura manométrica que debe proporcionar dicha bomba, que va a depender fundamentalmente de las características geométricas del circuito. También se debe conocer el NPSH disponible. Conociendo estos datos y el caudal en el que va a trabajar, se elige la bomba adecuada haciendo uso de las curvas características de cada bomba.

○ Cálculo de NPSH disponible

Para determinar el NPSH disponible se establece como punto 1, un punto de la superficie del volumen del agua y como punto, la aspiración de la bomba.

Obtenemos:

$$NPSH_d = P_1 - Z_{1A} + P_v + h_f$$

En donde:

- P_1 = Presión en el punto 1
- P_v = Presión de vapor en el punto A
- Z_{1A} = Altura geométrica de aspiración
- h_f = Pérdidas de cargas en la tubería de aspiración

Si el término Z_{1A} es negativo indica que la bomba está trabajando en posición sumergible.

Para la elección de la bomba el $NPSH_d > NPSH_r$, de lo contrario se produciría cavitación en la misma.

○ Cálculo de la altura manométrica

La altura manométrica es la suma de la altura geométrica total y la pérdida de carga producida en las tuberías y los accesorios.

$$H_{mt} = H_{ga} + H_{gi} + PC_{ASP} + PC_{IMP}$$

En donde:

- H_{mt} = Altura manométrica total.
- H_{ga} = Altura geométrica de aspiración.
- H_{gi} = Altura geométrica de impulsión.
- PC_{ASP} = Pérdida de carga en la aspiración.
- PC_{IMP} = Pérdida de carga en la impulsión.

La pérdida de presión totales en una instalación son la suma de las pérdidas en la tubería (tanto de aspiración como de impulsión) y en los accesorios (válvulas, codos,...). Las pérdidas de presión en los accesorios pueden obtenerse a través del fabricante en función del caudal o bien, se puede estimar que las pérdidas en cada accesorio son equivalente a una longitud recta del mismo diámetro.

En el siguiente cuadro se muestran las pérdidas de carga atendiendo al accesorio

ACCESORIO	LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBERÍA
CURVA (codo 90°)	5 metros
REDUCCIÓN	5 metros
VÁLVULA DE PIE	15 metros
VÁLVULA DE RETENCIÓN	10 metros
VÁLVULA DE COMPUERTA	10 metros

Tabla 10.11 Pérdida de Carga por accesorio

A partir del diámetro de la tubería y del caudal se obtiene la pérdida de carga mediante un diagrama general de pérdida de carga.

En las impulsiones de lodos se debe aplicar un coeficiente de mayoración de las pérdidas de carga sobre los valores aceptados para la circulación de agua.

○ Determinación del diámetro interno de la tubería

El diámetro interno de la tubería se determina de manera que la velocidad del fluido a través de la tubería esté en el rango de 0.8-1.8 m/s. Valores excesivamente altos provocan una pérdida de carga elevada y esto supone un gasto innecesario de potencia de impulsión del fluido. Valores excesivamente bajos pueden provocar la sedimentación de los sólidos sedimentables que lleve el fluido y por tanto un problema de atascamiento y obturación.

Como el caudal es conocido y constante a lo largo de toda la tubería, podemos determinar el diámetro adecuado de la tubería para ajustar la velocidad en su rango correcto a través de la fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

En donde:

- D= Diámetro de la tubería (m2)
- Q= Caudal a lo largo de la tubería (m3/h).
- V= Velocidad a la que circula el agua en la tubería (m/s).
- Por tanto a caudal medio (43,75m3/h) y a una velocidad de 1m/s:

$$D = \sqrt{\frac{4.43,75}{\pi \cdot 1.3600}} = 124mm$$

Por tanto, si consideramos un caudal igual al caudal medio y una velocidad de 1m/s el diámetro resultante será **de 125mm**. Considerando un caudal igual al punta el diámetro a dicha velocidad resultaría ser **250mm**.

Ahora el diámetro de la tubería se determina como aquel que se ajusta a la bomba elegida, y luego se realiza la comprobación de que la velocidad a lo largo de la tubería no es demasiado grande, ni demasiado pequeña.

Otra posibilidad es utilizar un adaptador para ajustar la tubería al rodete de la bomba.

El material de las conducciones que conduzcan por gravedad y conducciones bombeadas va a ser PVC.

La solución de bombeo que se plantea está constituida por 2 bombas idénticas, capaces de evacuar un caudal de 60 m³/h. Según los textos consultados, lo más conveniente para

Bomba A).- bombeo a depuradora.

Bomba B).- bomba en reserva activa, para casos de puntas de caudal o avería de la primera bomba.

En el depósito hay tres sondas del tipo boya que marcan el nivel mínimo máximo y el de seguridad. Cuando el nivel del agua contenida en el depósito alcanza el nivel máximo, el autómata da orden a la bomba para que impulse agua a la unidad de tamizado hasta que alcance el nivel mínimo, momento en el cual la bombas se paran.

El arranque-parada del bombeo se controlará por la altura del agua en la cámara, mediante sensores-flotador. La cámara tendrá una planta de 6 m², 3 m de ancho por 2 m de largo, y la altura a la que se colocarán los distintos niveles de control será:

- Sensor 1. Altura de arranque:

$$H_{on} = 1 \text{ m}$$

- Sensor 2. Altura de parada:

$$H_{off} = 0.3 \text{ m}$$

- Sensor 3. Altura de activación de bomba de reserva por punta de caudal:

$$H_{pc} = 2 \text{ m.}$$

La altura total de la cámara será de 2,5 m, de modo que las bombas deberán tener una altura de elevación de 5 m.c.a. (2,5m. de la cámara, 1,5 m. de cota en cabeza de la planta y 1 m. de pérdidas estimadas en la línea piezométrica hasta llegar al Tamiz)

La bomba que cumple las especificaciones es:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| - Rodete: Tipo Vórtex | - Altura: 7mca |
| - Paso Libre: 40mm | - Monofásica/ Trifásica |
| - N° Polos 4 | - Tensión: 400V |
| - Frecuencia 50 Hz | - Potencia: 0,75kW |
| - Caudal: 60m ³ /h | |

I.1.4 TAMIZADO

- APLICACIONES DEL TAMIZ ROTATIVO:

Los tamices rotativos tienen innumerables aplicaciones en el pretratamiento del agua residual para prácticamente todo tipo de industrias. En industria alimentaria en general y especialmente en aquellas aplicaciones con gran contenido en grasas: Lácteas, Mataderos, Industrias pesqueras, Bodegas... Industrias con gran caudal en las que se hace necesario una limpieza continua de la malla filtrante.

Por todo ello se hace necesaria la instalación de este equipo para el desbaste de finos

- DISEÑO TAMIZ ROTATIVO

En esta operación de tamizado se utilizará un tamiz rotativo con características adecuadas a nuestras necesidades de tratamiento. Para la elección de tamiz es necesario conocer dos parámetros:

- Tamaño máximo de partícula que pasa a través del tamiz para una industria de tipo agroalimentario la abertura de paso recomendada es inferior o igual a 1mm.

- Dado que estos equipos se diseñan sobre agua limpia se considera como medida de seguridad que el tamiz sea capaz de soportar el doble de agua de caudal punta.

Por tanto **CAUDAL DE DISEÑO** 150 m³/hora.

Con estos datos se puede elegir el modelo de tamiz rotativo que más se adecue a nuestras necesidades.

Para la elección de modelo tomamos como referencia el catalogo del fabricante **GEDAR**.

MODELO	CARACTERISTICAS TECNICAS					
	Diámetro del cilindro (mm)	Longitud del cilindro (mm)	Potencia motor (Kw)	Ancho total (mm)	Fondo total (mm)	Altura total (mm)
GTR 270/250	270	250	0.25	520	670	470
GTR 270/500	270	500	0.25	770	670	470
GTR 400/500	400	500	0.55	780	840	740
GTR 400/800	400	800	0.55	1080	840	740
GTR 400/1000	400	1000	0.75	1280	840	740
GTR 655/300	655	300	0.75	630	1200	960
GTR 655/400	655	400	0.75	730	1200	960
GTR 655/600	655	600	0.75	930	1200	960
GTR 655/1000	655	1000	1	1330	1200	960
GTR 655/1500	655	1500	1	1830	1200	960
GTR 655/2000	655	2000	1.5	2330	1200	960

Tabla 10.12 Características Técnicas Tamices Extraída Catalogo Fabricante Gedar

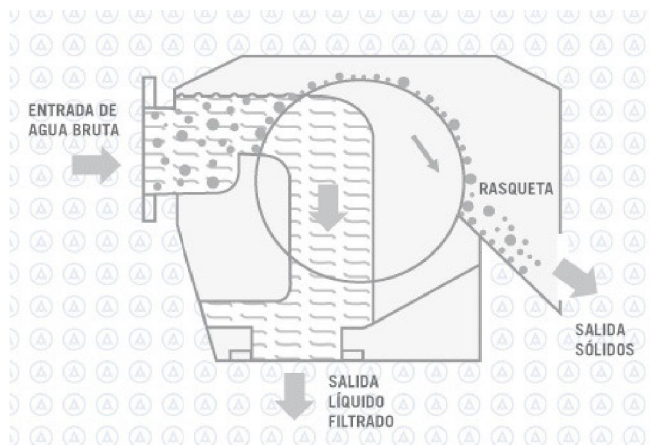


Tabla 10.13 Foto Tamiz Rotativo. Fabricante Gedar

TABLA DE CAUDALES PARA TAMICES ROTATIVOS

MODELO	CAUDAL DE AGUA (m ³ /h)								
	LUZ DE PASO DE MALLA (mm)								
	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3
GTR 270/250	5	7	12	15	17	22	25	27	28
GTR 270/500	10	14	24	30	34	44	50	54	56
GTR 400/500	18	29	52	71	76	97	114	125	136
GTR 400/800	31	48	87	114	124	158	184	203	218
GTR 400/1000	34	52	98	138	145	185	216	240	265
GTR 655/300	20	29	49	67	74	83	110	149	158
GTR 655/400	29	38	68	91	103	134	169	188	202
GTR 655/600	38	56	96	129	148	158	207	223	243
GTR 655/1000	66	105	187	250	268	343	394	438	468
GTR 655/1500	98	159	280	378	408	514	596	667	715
GTR 655/2000	128	207	373	496	532	682	783	861	928

Tabla 10.14 Modelos Tamices Rotativos. Extraída Catálogo Fabricante Gedar



Esquema de estructura interna de tamiz rotativo GEDAR

El modelo elegido es el GTR-655/1000 con las siguientes características:

Accesorios

- Raqueta Limpiadora que elimina los sólidos depositados en la superficie filtrante
- Depósito de receptor de líquido filtrado construido en chapa de acero

El modelo escogido tiene tamaño de luz de malla de **0,75 mm**. Según se muestran en las tablas de fabricante, con estas características este modelo está preparado para

soportar un volumen de **250 m³/h**, valor que supera ampliamente el valor punta del agua a tratar.

La potencia que consume el motor que lleva implementado este modelo consume **0,75kW**.

El equipo se coloca sobre una estructura de soportes metálicos a una altura de 1,5m sobre el nivel del suelo y así permitir que el agua que pasa por el tamiz rotativo caiga por gravedad sobre el homogeneizador.

Eliminación de residuos LA 0,22m³ de sólidos por cada 100m³: **1,02m³ sólidos /día**.

Los desechos recogidos del tamiz al igual que el de las rejillas se evacúan mecánicamente mediante una cinta transportadora hasta la prensa.

Para facilitar el posterior transporte a vertedero de los residuos, se hacen más compactos mediante el uso de prensas mecánicas especialmente concebidas para este hecho. Las ventajas de este proceso son:

- Disminuye la humedad al prensar los residuos, disminuyendo así peso y volumen para transporte.
- Al reducir la humedad se retrasa el proceso de fermentación y en consecuencia los olores. Permite la retirada de estos productos prensados con una periodicidad mayor.
- Se ha optado por una prensa de residuos mecánica tipo REK o modelo R15.

Según el libro “Ingeniería de Aguas Residuales. Metcalf & Eddy” el porcentaje de eliminación de Arenas, tanto para los tamices de tipo rotativo como los estáticos está comprendido entre el 80 y el 90% de arena, entre 15- 25 por 100 para DBO y de un 15 a un 30% de los sólidos suspendidos. La cantidad de residuos separados en tamices varía oscilando entre los 0,0375 y 0,225 m³/103 de agua residual tratada.

Los valores de DBO eliminado en los tamices son superiores a los obtenidos con los decantadores primarios.

Teniendo en cuenta los valores de referencia antes mencionados, para los cálculos efectuados en este proyecto se han considerado los siguientes porcentajes de eliminación:

- SÓLIDOS SUSPENDIDOS 25%
- DBO 20%

Tras el pretratamiento el agua tendrá aproximadamente las siguientes características:

PARÁMETRO	ENTRADA PRETRATAMIENTO (mg/l)	% ELIMINACION DESBASTE	% ELIMINACION TAMIZADO	SALIDA PRETRATAMIENTO (mg/l)
MES	8640	10	25	5832
DBO₅	11440	0	18	9380,8
DQO	19040	0	15	16184
Aceites y Grasas	448		15	402,90

Tabla 10.15 Características del Agua a la salida del Pretratamiento

I.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

I.2.1 HOMOGENEIZACIÓN

Esta etapa tiene como objeto amortiguar las posibles puntas dotando a los sucesivos tratamientos que van a tener lugar en la estación depuradora de un volumen constante de agua con características homogéneas en cuanto a carga contaminante.

El agua procedente del tamizado se recoge en la balsa de homogeneización. En este tanque el agua residual se mantiene en constante movimiento por la actuación de un agitador sumergible, evitando así la posible sedimentación de la carga contaminante. Por otro lado se mantienen las condiciones aerobias del vertido mediante un aireador sumergido autotraspirante.

En la balsa de homogeneización se instalan dos bombas sumergibles, una de ellas está encargada de bombear el caudal constante necesario en la estación depuradora para que el proceso de depuración se complete a lo largo del día.

Ventajas que se obtienen de la regulación y homogeneización de caudales son:

- Se ha podido constatar que la homogeneización aumenta las características de tratabilidad del agua residual.
- En el tratamiento físico-químico, el amortiguamiento de las cargas aplicadas, mejor la fiabilidad del proceso.
- Mejora la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de flotación, al trabajar a cargas de sólidos constantes.

Para evitar decantaciones no deseadas se dota a la balsa de homogeneización con agitación suficiente para mantener los sólidos en suspensión en el vertido. Para ello se podría emplear una batería de micronizadores con soplante de émbolos rotativos, que mejoran las características del vertido.

- **DIMENSIONAMIENTO TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN**

Tomando un volumen medio diario de 350m³/día, teniendo en cuenta que el matadero tiene actividad durante 5 días a la semana, y que vamos a programar que el tratamiento se realice durante 7 días por semana, el caudal de homogeneización diario resulta ser:

$$Q_{homog} \frac{350 \text{ m}^3/d \cdot 5 \text{ días}}{7 \text{ días/semana}} = 250 \text{ m}^3/d$$

Vamos a suponer un volumen que tenga una capacidad almacenamiento de aproximadamente un día y medio, por lo que hemos considerado un Volumen de 380m³.

Las dimensiones del depósito son:

$$S_{homog} \frac{V_{homog}}{h} = \frac{380 \text{ m}^3}{4,5 \text{ m}} = 84,44 \text{ m}^2$$

Se opta por un tanque con dimensiones cuadradas, por lo cual la longitud resultante será:

$$L_{homog} = \sqrt{84,44} = 9,18 \text{ m}$$

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

Longitud (m)	9,18
Ancho (m)	9,18
Profundidad (m)	4,5
Volumen útil (m ³)	380

Tabla 10.16 Dimensiones Tanque de Homogeneización**- NECESIDADES DE AGITACIÓN**

La homogeneización se consigue mediante un agitador sumergido HYPOMIX de ABS que se caracteriza por ser de forma hiperboloide e hidráulicamente optimizado consiguiendo un sistema de agitación que requiere bajo consumo energético; estableciéndose su consumo energético en 5,5 Kw por m³ de agua a homogeneizar.

$$\text{Potencia} = 500\text{m}^3 * 5,5\text{W/m}^3 = \mathbf{2750\text{W}}$$

Sus características técnicas son:

- Cuerpo de agitador. Modelo HM 2304
- Material : Fabricado en plástico duro alveolar completamente encapsulado
- Diámetro 2300mm
- Número alabes 8
- Caja de engranaje : Modelo M15-4
- Potencia :Motor sumergible de 2,75kW
- Velocidad de giro 1450r.p.m
- Accesorios
- Bastidor de elevación
- Guías de cable resistentes a la corrosión
- Tensador eléctrico de cable

A excepción de un cambio de aceite cada 3años, el equipo apenas precisa mantenimiento alguno. Las bajas velocidades de giro y el funcionamiento sin

vibraciones, unido a su robusto diseño garantizan una larga vida útil y unos costes mínimos de funcionamiento.

- **NECESIDADES DE AIREACIÓN**

En este proceso se justifica el uso de aire como medio para mantener únicamente las condiciones aerobias del vertido retenido en el homogeneizador. Se establece para este tipo de procesos unas necesidades de aire comprendidas entre 0,8 y 3 m³ de aire por metro cúbico de tanque. Para un valor medio de 2m³aire/m³ de tanque las necesidades de aire son:

- $N_{\text{aire}} = 2\text{m}^3 \cdot 380\text{m}^3 = 760 \text{ m}^3 \text{ aire/d}$

Para la aireación nos ayudamos de un aireador sumergible autoaspirante tipo FRINGS modelo 150T cuyas características técnicas son:

- Motor: Potencia absorbida de 1,5kW
- Revoluciones: Max 1450 r.p.m.
- Volumen de aire introducido: 50m³/h con una transferencia de oxígeno de 6,2kg/h

1.2.2 REGULACIÓN pH

Para llevar a cabo la neutralización, el tanque de homogeneización lleva situado un medidor de pH conectado a dos bombas dosificadoras de ácido y sosa.

Dicho medidor consta de una sonda de pH de compensación automática conectada en continuo con servomando (Marcha/parada) a las dos bombas. Además el equipo viene con soporte para sonda y caña de inmersión en polipropileno.

El cálculo del consumo de ácido y base para la neutralización del vertido va a estar condicionado por el pH del agua residual.

Se consideran los siguientes consumos medios de ácido y base para la neutralización del agua tratada:

- 50 ml de ácido sulfúrico (al 33%) por m³ de agua tratada
- 100ml de sosa (al 50%) por m³ de agua tratada).

Los depósitos de ácido y sosa tienen un volumen total de 1m^3 , por tanto la autonomía de los depósitos es:

- Consumo de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{día} = 0,051 \cdot 380\text{m}^3 = 19$ litros
 $1000\text{l}/19\text{ l/día} = 52,63$ días. Autonomía para **52 días** con un depósito
- Consumo de Sosa/día = $0,11 \cdot 380\text{m}^3 = 38$ litros.
 $1000\text{l}/38\text{l/día} = 26,31$ días Autonomía para **26 días** con un depósito

Las características de las bombas dosificadoras son:

- Tipo: Bomba dosificadora de ácido (1Ud)
- Dosificador : Membrana mecánica de teflón
- Potencia 0,25 kW
- Tuberías de PVC

Accesorios

- 1 válvula antirretorno de claveta
- 2 válvulas de bola
- 1 válvula de seguridad

Tipo Bomba dosificadora de Sosa (1ud)

- Dosificador membrana mecánica de teflón
- Potencia 0,25W
- Tuberías de acero inoxidable AISI 304 de $\frac{1}{2}$ pulgada

Accesorios

- 1 válvula antirretorno de claveta
- 2 válvulas de bola
- 1 válvula de seguridad.

I.2.3 SISTEMA DE DESENGRASADO POR FLOTACIÓN

No se concibe como “desarenador-desengrasador” debido a la presencia prácticamente nula de arenas en el vertido. No obstante, se ha dispuesto un sistema de recogida de fangos mediante rasquetas de fondo, que extraerá tanto las posibles arenas existentes como los restos de materia orgánica que logren sedimentar, a pesar de la inyección de aire. Estas mismas rasquetas, completando su recorrido, se utilizarán para el barrido superficial de las grasas hasta los respectivos canales desnatadores.

Las grasas se vierten por gravedad en cubas de recogida. La pequeña cantidad de lodos que se recoge se envía al digestor de fangos. El agua, desengrasada y oxigenada, pasa a continuación hacia el tratamiento biológico

- FUNCIONAMIENTO DESENGRASADOR. FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO

En un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) el aire es introducido mediante agua presurizada. Es decir, un caudal de agua (caudal de recirculación) es mezclado bajo presión de varias atmósferas con aire. Al inyectar esta agua presurizada en el efluente, el aire se libera en forma de microburbujas que ascienden a la parte superior fijándose los flóculos en suspensión y produciéndose con ello su flotación.

- DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DAF

○ Floculación en línea

Previamente al proceso de flotación se llevará a cabo una reacción de floculación en la línea de tuberías que conduce el agua de vertido del homogeneizado al depósito de la DAF con el objetivo de obtener agregados de mayor tamaño que floten mejor. Para ello se adicionará un floculante catiónico de alto peso molecular que no requiere ninguna coagulación previa.

Partimos de los siguientes datos:

- Caudal Línea = **250m³/d**

La dosificación del floculante se encuentra en torno a los **50ppm** de producto comercial

- $0,05 \cdot 250\text{m}^3/\text{d} = \mathbf{12,50 \text{ Litros de floculante}}$

- $12,50 \text{ Litros/día} / 24 \text{ h/día} = \mathbf{0,52 \text{ l/h}}$.

Si el depósito tiene un volumen de 1 m^3

- Autonomía del floculante = $1000 \text{ litros} / 12,50 \text{ litros} = \mathbf{80 \text{ días}}$

El equipo utilizado para la dosificación de floculante es:

- Bomba dosificadora de pistón-membrana hidráulica (1Ud)
- Caudal Max $0,5\text{-}0,9 \text{ l/h}$
- Potencial = $0,25 \text{ kW}$

Válvula de seguridad

- Electro válvulas temporizadas de dosificación

○ DIMENSIONAMIENTO DEL DESENGRASADOR

Cuando se emplea la Aeroflotación para el desengrasado de las aguas se precisa determinar la relación del peso de aire contenido en el agua presurizada y el peso de la materia a flotar (**A/MAF**)

El dimensionado del desengrasador vendrá dado por la concentración de materias en suspensión, la velocidad ascensional o carga hidráulica de los flotantes y la concentración del espesado

○ Cantidad de materia a flotar

Para conocer la cantidad de grasas arrastradas a la superficie se tienen que conocer los siguientes datos:

- Concentración de grasas en el efluente en ese punto del tratamiento:
- El valor de la concentración de grasas a la entrada del depósito de aeroflotación es de $402,9 \text{ mg/l}$ valor obtenido a la salida del efluente una vez sometidos a los procesos de pretratamiento.

El caudal aportado por el homogeneizador es de $250 \text{ m}^3/\text{día}$ luego:

$$\text{Carga de grasas} = 0,4029 \text{ kg/m}^3 * 250 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{100,725 \text{ kg/d}}$$

Rendimiento de eliminación en el equipo de Aeroflotación: **80%**

La cantidad de grasas a flotar será:

$$100,725\text{kg/día} * 80 \% \text{ de eliminación} = \mathbf{80,58 \text{ kg/d}}$$

Por otro lado se considera que en este tipo de procesos de Aeroflotación se puede hacer flotar hasta un 15% de los sólidos en suspensión, si tenemos floculación en cabeza hasta un 15% de la fracción correspondiente a la DQO coloidal y disuelta.

Supondremos que la carga contaminante (DQO) puede dividirse teóricamente en 3 fracciones:

- La fracción compuesta por sólidos gruesos fácilmente separables.
- La fracción compuesta por sólidos finos y coloidales que requieren un tratamiento químico previo.
- La fracción disuelta.

$$\text{DQO total} = 1/3\text{DQO disuelta} + 1/3\text{DQO coloidal} + 1/3\text{DQO suspensión}$$

Para ello suponemos 1kg DQO suspensión → 1Kg S.S

Luego la cantidad de DQO (coloidal + disuelta) será igual:

$$\text{DQO (coloidal + disuelta)} = \text{DQO Total} - \text{DQO suspensión}$$

A la salida del pretratamiento la Carga DQO era de 16184mg/litro, por tanto su carga total al cabo del día será:

$$\text{Carga DQO}_{\text{total}} = \text{DQO} * V_{\text{Homog}} = 16,184_{\text{kg/m}^3} * 250_{\text{m}^3} = \mathbf{4\ 046\text{kg/d}}$$

El valor de los S.S a la salida del pretratamiento es de **5 832mg/l** siendo su carga por tanto de:

$$\text{Carga S.S} = \text{S.S} * V_{\text{Homog}} = 5,832_{\text{kg/m}^3} * 250_{\text{m}^3} = \mathbf{1\ 458\text{kg/d}}$$

Si el rendimiento de eliminación es del 15%

- Los SS eliminados = $1458 \cdot 0,15 = 1458 \cdot 0,15 = 218,7 \text{ kg/d}$

Considerando el razonamiento anterior

$$\text{DQO (coloidal+disuelta)} = 4046 \text{ kg/d} - 1458 \text{ kg/d} = \mathbf{2590 \text{ kg/d}}$$

Análogamente si el rendimiento de eliminación de la DQO coloidal es de un 15%

- DQO (coloidal +disuelta) eliminada = $2590 \text{ kg/d} \cdot 0,15 = \mathbf{388,5 \text{ kg/d}}$

En resumen, la cantidad total de materia a flotar (MAF) será:

$$\text{MAF} = \text{Grasas eliminadas} + \text{SS eliminados} + \text{DQO (Coloidal +disuelta) eliminada}$$

$$\mathbf{\text{MAF} = (80,58 + 388,2 + 218,7) \text{ kg/d} = \mathbf{687,48 \text{ kg/d}}}$$

○ Cantidad de aire incorporado

En los sistemas de flotación con aireación deberá tenerse en cuenta la solubilidad del aire y la cantidad de gas liberado al pasar de la presurización dada a la presión atmosférica. La cantidad de aire incorporada debe ser la justa para evitar consumos inútiles siendo el intervalo óptimo de **4 a 7 litros aire/kg de sólido**.

La cantidad de gas aportado viene dado por la siguiente relación

$$A = Q_{\text{RECIR}} * S_{\text{AIRE}} * (fP - 1)$$

En donde:

- Q_{Recir} : Caudal de recirculación. Se estima adecuado un porcentaje entre el 30 y el 60% del total del efluente de DAF. Tomaremos un valor del 60%
- $Q_{\text{Recir}} = 0,6 * 250 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{150 \text{ m}^3/\text{d}}$
- S_{aire} : Solubilidad del aire. Depende de la temperatura.

A continuación se anexa tabla con distintos valores de la solubilidad del aire en agua a diferentes temperaturas y 101,3kPa:

Temperatura T°C	mg.l ⁻¹	ml.l ⁻¹
10	29,3	23,5
20	24,3	20,1
30	20,9	17,9
40	18,5	16,4
50	17,0	15,6
60	15,9	15,0

10.17 Solubilidad del Aire a distintas Temperaturas a una presión de 101,3KPa

$$\text{Para } T = 20^\circ \rightarrow S_{\text{aire}} = 24,3 \text{ g/m}^3$$

- *f*: Relación entre la solubilidad del aire en el agua residual y la solubilidad en el agua pura. El valor de *f* depende del diseño del tanque. A 20°C para un intervalo de presiones entre 2 y 4atmos, el valor de *f* está normalmente entre 0,5 y 0,8. Adoptaremos el valor más conservador de **0,5**.
- *P*: Presión a la que se somete el caudal de recirculación. La presurización óptima se da a una presión de 3 a 5 atmosfera para conseguir burbujas de 50 a 100micras. Tomaremos un valor de 4 atmosferas.

El termino -1 se incluye para prever la posibilidad de que el sistema funcione a Presión atmosférica

- Por tanto :

$$A = Q_{\text{RECIR}} * S_{\text{AIRE}} * (fP - 1)$$

$$A = 150_{\text{m}^3/\text{día}} * 24,3 \text{ g/m}^3 * (0,5 \cdot 4 - 1) = \mathbf{3645 \text{ gramos aire/día}}$$

Si tomamos un peso específico para el valor del aire es de $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/l}$

$$A = \frac{3645g/dia}{1,3 \cdot 10^{-3} kg/litro} = 2830,84 \text{ litros de aire}/dia$$

Se debe cumplir como se ha mencionado antes la siguiente relación de carga:

$$4 < \frac{A}{MAF} > 7$$

$$\frac{A}{MAF} = \frac{2830,84}{687,48} = 4,08 \text{ litros de aire}/dia$$

Se cumple por tanto que la relación de carga está dentro del intervalo óptimo:

$$4 < 4,08 > 7$$

Para llevar a cabo la presurización se utilizara un grupo compresor cuyas características son:

- Presión máxima de funcionamiento 5bar
- Caudal de aire 20m³/h
- Filtro de aspiración y caja de aislamiento sonoro.
- Cuadro de mando electrónico con regulación de compresión
- Potencia motor de 8 kW

Además el compresor se dispone de:

- Depósito de presurización y válvula de contrapresión que mantiene la presión entre 28 y 32kn/m²

○ **Dimensionamiento del Depósito de aeroflotación (DAF)**

Los parámetros a cumplir por la celda de aeroflotación:

- Carga hidráulica----- 80 l/m².min (4,8m³/m².h).
- Carga aplicada ----- 4< C.A< 8Kg/m².h
- Tiempo de retención (Tr) ---- 20 y 30 minutos.
- Velocidad Horizontal (V_h)----- 0,9m/min (54m/h)

Los datos:

El caudal que entra en el desengrasador, es la suma del caudal aportado a la salida del Homogeneizador (Q_d) más el caudal de recirculación (Q_{RECIR}). Por tanto el caudal de entrada al DAF será:

$$Q_{DAF} = Q_d + Q_{RECIR} = 250 \text{ m}^3/\text{dia} + 150 \text{ m}^3/\text{dia} = 400 \text{ m}^3/\text{dia} = \mathbf{16,70 \text{ m}^3/\text{h}}$$

La superficie mínima necesaria se calcula por la fórmula:

$$S_{DAF \text{ MINIMA}} = F \cdot \frac{Q_{DAF}}{C_H}$$

Siendo:

F: factor para compensar los posibles cortocircuitos = 1,1

Q_{DAF} = Caudal de entrada al depósito = $16,70 \text{ m}^3$

C_H : Carga hidráulica o velocidad ascensional. Se estima en $4,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

$$S_{DAF \text{ MINIMA}} = 1,1 \frac{16,70 \text{ m}^3/\text{h}}{4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 4,175 \text{ m}^2$$

La geometría del tanque debe ser rectangular. Para calcular la longitud del depósito fijamos la anchura del mismo con una longitud de 1,5m.

$$S_{DAF} = \text{longitud} * \text{anchura} \rightarrow L = \frac{4,175 \text{ m}^2}{1,5} \cong 2,8 \text{ m}$$

Luego la superficie final del depósito de aeroflotación será:

$$S_{DAF} = 2,8 \text{ m} * 1,5 \text{ m} = 4,2 \text{ m}^2 > 4,175 \text{ m}^2$$

- La altura total del depósito de aeroflotación viene dada por la expresión:

$$H_{DAF} = H_1 + H_2$$

Donde:

- H_2 = Altura zona de separación = 1m (valor mínimo)
- H_1 = Altura zona de concentración = Sección mojada/anchura

En donde:

$$S_{mojada} = \frac{Q_{DAF}}{V_h}$$

Siendo:

- Q_{DAF} : Caudal de entrada al depósito= $16,7\text{m}^3/\text{h}$
- V_h : Velocidad horizontal del agua = $0,66\text{m}/\text{min}$ ($40\text{m}/\text{h}$) hasta un valor máximo de $0,9\text{m}/\text{min}$

$$S_{mojada} = \frac{16,7}{40} = 0,4175\text{m}^2$$

Por tanto la Altura de concentración será:

$$H_1 = S_{mojada}/\text{Anchura} = 0,4175 / 1,5\text{m} = 0,278\text{m} = \mathbf{27,8\text{cm}}$$

Puesto que no se esperan sobre caudales, en tanto que el agua es extraída mediante bombas, se fija un resguardo de seguridad de 10cm .

$$H_{DAF} = 0,28\text{m} + 1 + 0,1\text{m} = \mathbf{1,38\text{m}}$$

Parámetros a cumplir:

- Carga hidráulica: El rendimiento de la flotación está muy ligado a las características previas del efluente, pero como norma general, siempre se ha de respetar un máximo de $80\text{l}/\text{m}^2.\text{h}$.

Teniendo en cuenta que nuestro depósito tiene una superficie de $4,2\text{m}^2$, lo que supone que podemos absorber puntas de caudal de:

- Caudal Max admitido = $4,8\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h} * 4,2\text{m}^2 = \mathbf{20,16\text{m}^3/\text{h}}$.
- Siendo el caudal máximo de vertido de $\mathbf{16,70\text{m}^3/\text{h} < 20,16\text{m}^3/\text{h}}$.

Para una carga hidráulica media de trabajo:

$$C_H = 16,70\text{m}^3/\text{h} / 4,2\text{m}^2 = 3,98\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h} < 4,8\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$$

- **Tiempo de retención**

El volumen de la celda de aeroflotación será:

$$V_{DAF} = S_{DAF} \cdot H_{DAF} = 4,2 \text{m}^2 \cdot 1,38 \text{m} = \mathbf{5,796 \text{m}^3}$$

El tiempo de retención será por tanto de:

$$T_{reten} = V_{DAF} / Q_{DAF} = 0,347 \text{h} = \mathbf{20,82 \text{min}} > 20 \text{min} \text{ y } < 30 \text{min}$$

○ **Carga aplicada**

Se define como la cantidad de materia suspendida por unidad de superficie y tiempo.

La cantidad de materia a flotar es **de 28,645Kg/h**

$$C.A = MAF / S_{DAF} = 28,645 \text{Kg/h} / 4,2 \text{m}^2 = \mathbf{6,82 \text{Kg/m}^2 \cdot \text{h}} > 4 \text{ y } < 8 \text{Kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

A pesar de la gran eficacia en la clarificación, la flotación por aire disuelto permite la obtención de lodos mucho más concentrados que los obtenidos por decantación. Los lodos se concentran en la superficie del líquido manteniéndose firmes que al ser empujado por el caudal de aire permiten así la salida de agua clarificada. Las tortas de lodo espesadas en la superficie serán evacuadas del depósito mediante un raspador de flotantes de desplazamiento lento.

No obstante el equipo lleva instalado un deflector para conseguir una salida del agua uniforme y exenta de flotantes. Va colocado delante del vertedero, con un cierto calado, dejando paso sólo al agua con ese mismo calado. El agua tratada será llevada por gravedad hasta el tratamiento biológico.

Las dimensiones finales del depósito de aeroflotación son:

Depósito de Aeroflotación		
○	Longitud (m)	2,8
○	Ancho (m)	1,5
○	Superficie (m ²)	4,2
○	Altura total(m)	1,38
○	Volumen útil (m ³)	5,796

Tabla 10.18 Dimensionamiento Depósito de Aeroflotación

○ **Dimensionamiento de los equipos:**

- Sistema barredor de flotantes: Consta de un juego de cadenas y raquetas
 - Raquetas barreadoras de neopreno con chapa soporte.
- Bomba de Recirculación:
 - Tipo Centrifuga Horizontal monobloc
 - Potencia : Motor eléctrico servicio continuo de 1,2Kw
 - Caudal: 7m³/h
 - Rodete y carcasa en INOX



Figura: Tratamiento Aeroflotación D.A.F cortesía fabricante Totagua

○ **Accesorios: Caudalímetro de flotador**

El sistema barredor estará equipado con un temporizador que permite regular la cantidad de flotantes a evacuar y conservar.

○ **Concentración y extracción de grasas y flotante**

Los flotantes recogidos del tanque DAF caerán a un depósito contiguo con capacidad útil de 25m³ para su almacenamiento y posterior evacuación de la planta.

Donde:

- MAF: Cantidad de flotantes que se pretende eliminar = **687,48kg/d**
- P_a: Peso específico del agua = **1000Kg/m³**

- C : Concentración de grasas y flotantes en los puntos de extracción = **10%**
- $Q_{\text{flotantes}} = 687,48 \text{ Kg/d} / 1000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,1 = \mathbf{6,87 \text{ m}^3/\text{d}}$

La autonomía de la bolsa de flotación será $28 / 6,87 = 4,07 = \mathbf{4 \text{ días}}$

Para la extracción de lodos se utilizará una bomba de Tornillo con las siguientes características

- Tipo : de husillo excéntrico
- Caudal $1\text{-}5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura Manométrica 40m
- Potencia Motor de 1,1KW

- RENDIMIENTOS A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Los rendimientos que se producen en el tratamiento primario son debidos exclusivamente al proceso de aeroflotación al que es sometido el efluente, teniendo en cuenta que los parámetros en el tanque de homogeneización permanecen constantes.

Consideramos que con la flotación por aire disuelto conseguimos eliminar hasta en un 85% las grasas presentes en el efluente. Por otro lado hemos estimado que un 15 y un 25% de los sólidos en Suspensión son eliminados al ser adheridos a las microburbujas y reducir en un 15% la DQO coloidal disuelta.

Las características del agua antes de pasar por el tratamiento biológico son las que se muestran en la siguiente tabla:

PARÁMETRO	ENTRADA TRATAMIENTO PRIMARIO (mg/l)	%ELIMINACIÓN DAF	SALIDA TRATAMIENTO PRIMARIO(mg/l)
MES	5616	23	4320
DBO5	9380,8	15	7973,68
DQO	16184	15	13756,4
Aceites y Grasas	402,9	80	80,58

Tabla 10.19 Características del agua a la salida del Tratamiento Primario.

I.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO (SBR)

- CONDICIONES GENERALES:

El reactor discontinuo (SBR) es un tipo de reactor que sigue un proceso de llenado-vaciado alternado, en la que todas las etapas de un proceso de fangos activos se llevan a cabo en un reactor de mezcla completa. El líquido mezcla permanece en el interior del reactor durante todos los ciclos, lo cual, evita la necesidad de disponer de tanques de sedimentación secundarios, con el consecuente ahorro de espacio que ello conlleva.

- DISEÑO DE CICLOS

Se considerará un total de 2 ciclos al día. Por tanto cada ciclo tendrá una duración de 12 horas.

En cuanto al diseño hemos supuesto 2 ciclos al día de funcionamiento con una duración total de cada ciclo de 12 h. El llenado tendrá una duración de 6 horas. Las tres primeras son de llenado estático las 2 horas siguientes son de llenado de mezcla, finalmente la siguiente será llenado mezcla y aireación. Posteriormente se llevará a cabo la fase de reacción que durará una hora y media durante la cual se eliminara la materia orgánica altamente hidrolizable. A continuación tendrá lugar la fase de decantación que durará dos horas y media. Finalmente tendrá lugar la extracción que tendrá una duración de 1 hora. El último tiempo de 1 hora será de reposo y purga de fangos.

Con la modificación en los tiempos de cada fase se puede conseguir eliminación de Fósforo y Nitrógeno. Para ello en el diseño del reactor se puede contemplar la posibilidad de hacer una **Desnitrificación** durante el llenado y otra posterior después de la fase de reacción en caso de tener una punta de Nitrógeno o reducir la concentración de Nitratos a la salida. A priori y debido a buena relación de **DBO/N/P** no se tiene en cuenta. Según fuentes consultadas esta relación deber ser **100/5/1** en la práctica nos ha salido **114/6/1**.

- Ciclo operativo de 12horas

LL =Llenado 3h

LLM= Llenado Mezcla 2h

LLMA= Llenado Mezcla de aire y aireación 1

R = Reacción con y sin aireación 1,5h

D= Decantación 2,5h

V= Vaciado 1h

I = Reposo/Purga de Fangos 1h

- **PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LOS PROCESO DE FANGOS
ACTIVOS**

En las siguientes tablas extraídas del libro “*Tratamiento de Aguas Residuales Metcalf & Edy*” se muestra por una parte los valores recomendados de los parámetros de diseño para distintas modalidades de fangos activos, y por otra la clasificación de los tratamientos de fangos activos en función de su carga másica.

Tipo de Proceso	F/M Cm	Carga volumétrica	SSLM	V/Q h
Reactor de flujo discontinuo secuencial	0,05-0,30	0,08-0,5	1500-5000	12-50
Aireación de alta carga	0,4-1,5	1,6	4000-10000	2-4
Aireación prolongada	0,05-0,15	0,16-0,40	3000-6000	18-36

Tabla 10.20 Parámetros de diseño para los procesos de fangos activos. “Metcalf & Edy”.

	Carga Másica Cm	Carga Volumétrica Cv	Tc (días)	Th(horas)
De baja carga o de Aireación prolongada	<0,1	< 0,2	>15	>12(puede dar la nitrificación)
De carga media o Convencional	0,3-05	0,32-0.64	5-15	> 4h
De alta carga o Contacto Estabilización	>1	>3	1-5	<4h

Tabla 10.21 Clasificación Tratamiento de fangos activos. "Metcalf & Eddy"

Según los Criterios de diseño de las tablas adjuntas establecemos los parámetros a cumplir en este proceso:

- Carga Másica (Cm)-----0,05-0,30 Kg DBO₅ aplicada/kg SSVLM
- Carga Volumétrica (Cv)----- 0,08-0,5 Kg DBO₅ aplicada/m³.h
- SSVLM ----- 1500-5000mg/l
- Se trabajará con un reactor de baja Carga. Tomaremos un valor para Cm igual $Cm=0,15 \text{ KgDBO}_{\text{aplicada}}/\text{Kg SSVLM}$
- Relación de SSVLM/SSLM producida por la conversión de la materia orgánica del efluente =0,8

- **DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR**

○ BASES DE PARTIDA ENTRADA REACTOR BIOLÓGICO

- Caudal diario = 250m³/d
- Caudal horario= 10,42 m³/h
- Valor de la DBO₅ a la salida del tratamiento primario = 7973,8mg/l(Tomaremos como referencia 8kg/m³)
- Valor de la SS a la Salida del tratamiento primario= 4320mg/l
- Fracción Volátil de los S.S *(SSV) = 1728mg/l

*Se considera que SSV = 40% de los SS.

Dado que el tiempo de Retención hidráulica es de 12 horas, que la duración del llenado es de seis horas y que supondremos que el 65% del volumen total se vacía en cada ciclo el volumen del tanque será el necesario:

$$* V = \frac{Qh * 6}{0,65}$$

*Suponiendo que hay dos líneas en funcionamiento a la par y en todo momento se produjera alimentación de agua. En el caso de que trabajase sólo una línea habría que multiplicar el valor de dicha ecuación por 2.

En nuestro caso sólo tenemos un Reactor. Por lo que el volumen será igual a:

$$V_{SBR} = \frac{10,42 * 6}{0,65} * 2 = \mathbf{192,4m^3}$$

El Reactor será un depósito de PRVF que tendrá forma cúbica siendo su parte inferior de forma piramidal para fomentar la decantación y concentración de los lodos para su posterior purga del reactor.

Vamos a diseñar las dimensiones que tendrá el reactor. Para ello vamos a Considerar dos Zonas dentro del reactor, por una parte la primera zona corresponderá a la zona de llenado y mezclado, por otro lado, la segunda zona que corresponderá con la zona piramidal del reactor y que será aquella en la que tendrá lugar la decantación. Por tanto:

Volumen Total Reactor SBR = $V_1 + V_2$

- V_1 = Volumen Zona Mezclado Aireación
- V_2 = Volumen Zona Decantación
- V_1 = Superficie (cuadrada). H_1
- $V_2 = 1/3 \text{ Superficie} \cdot H_2$

- Si suponemos una altura $H_1 = 4\text{ m}$
- Largo = Ancho = **6,5 m**
- $V_1 = 168\text{ m}^3$
- Si suponemos una altura $H_2 = 2\text{ m}$
- $V_2 = 28,20\text{ m}^3$

$H_{\text{TOTAL}} = 6\text{ m}$

Volumen SBR = $168 + 28,20 = 196\text{ m}^3$

Volumen SBR Total = $196\text{ m}^3 > 192\text{ m}^3$

Volumen Tanque Reactor SBR	
Longitud (m)	6,5
Ancho (m)	6,5
Altura H_1 (m)	4
Altura H_2 (m)	2
Volumen útil (m^3)	196

Tabla 10.22 Dimensionamiento Depósito SBR

Según las los valores que figuran C_m debe tener unos valores comprendidos:

$$0,08 > C_m < 0,30$$

Como se ha mencionado anteriormente Para el dimensionamiento del reactor vamos a escoger de manera teórica un valor para la carga Másica **$C_m = 0,15$**

Para Calcular el coeficiente Volumétrico C_v utilizaremos la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{Q * [DBO_{aplic}]}{V_{sbr}}$$

Por tanto:

$$C_v = \frac{10,42 \frac{m^3}{h} \left[8 \frac{kg}{m^3} \right]}{196 m^3} = 0,425 \left[\frac{kg DBO}{m^3} \right]$$

Según las los valores de las tablas anexas anteriormente C_v debe tener unos valores comprendidos:

$$0,08 > C_v < 0,5$$

Atendiendo a estos valores, el C_v calculado de manera teórica se encuentra dentro de este rango, aunque es muy alto, para trabajar a baja carga.

Lo ideal sería que C_v tuviera un valor igual a 0,15.

A continuación calcularemos la concentración del líquido Mezcla contenido en el reactor mediante la siguiente ecuación:

$$SSVLM = \frac{Q [DBO_{aplic}]}{C_m \cdot V_{SBR}}$$

Por tanto:

$$SSVLM = \frac{10,42 \frac{m^3}{h} \left[8 \frac{kg}{m^3} \right]}{0,15 \cdot 196 m^3} = 2,84 kg/m^3$$

Según las los valores que figuran tabla indicadas arriba SSVLM debe encontrarse entre los siguientes valores

$$1500 mg/l > SSVLM < 5000 mg/l$$

Por tanto el valor calculado se encuentra dentro del margen establecido.

Los sólidos en suspensión del vertido se dividen en la fracción volátil y la fracción inerte. Estos últimos se pueden calcular como la diferencia entre los Sólidos en Suspensión Totales menos la fracción volátil.

$$\text{Masa SSVLM} = V_{\text{SBR}} \cdot [\text{SSVLM}] = 196 \text{ m}^3 \cdot 2,84 \text{ Kg/m}^3 = \mathbf{556,64\text{kg}}$$

$$[\text{SSLM}] = \text{Concentración Real SS inerte } ([\text{SS}] - [\text{SSV}]) + [\text{SSVLM}] / 0,8$$

$$[\text{SSLM}] = [4320 - 1728] + 2840 / 0,8 = \mathbf{5278\text{mg/l}}$$

$$\text{Masa de SS} = V_{\text{SBR}} \cdot [\text{SSLM}] = 196 \text{ m}^3 \cdot 5278 \text{ Kg/m}^3 = \mathbf{1034,488\text{kg}}$$

En función de los coeficientes C_m y C_v se debería de conseguir un rendimiento del 92% aproximadamente.

$$\text{DBO}_5 \text{ salida} = \text{DBO}_5 \text{ entrada} \cdot \text{Rdto} = \mathbf{0,64\text{kg/m}^3}$$

- **FANGOS A PURGAR**

Para estimar el volumen ocupado por el fango sedimentado al final del ciclo se procederá de la siguiente forma:

- Determinación de la masa de SS contenida en el reactor al final de cada ciclo mediante la siguiente ecuación:

$$X_n = X_0 + \frac{p_{xn}}{0,8} + \text{SSinerte}$$

En donde:

- X_0 = SS iniciales después del vaciado (Kg)
- P_{xn} = Sólidos generados durante el n-ésimo ciclo debido a la conversión de la materia orgánica contenida en el agua residual
- SSinerte = Sólidos inertes añadidos cada día

- Cálculo del valor de P_{xn} basado en los SSV. Se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$P_{xn} = Y \cdot (S_0 - S) \cdot Q - k \cdot x_{n-1}$$

En donde:

- Y = coeficiente de transformación. Se ha tomado como valor de éste 0,65. (Igual 0,65 kg de células producida/kg de materia orgánica)
- S_0 = DBO a la entrada = 8kg/m^3
- Q_c = Caudal por ciclo = $10,42\text{m}^3/\text{h} \cdot 6\text{h} = 62,52\text{m}^3$
- K = Coeficiente de degradación de microorganismos se ha tomado $0,05\text{d}^{-1}$

Según los valores establecidos resulta que la masa de SSV producida durante el ciclo operativo es de:

$$P_{xn} = 0,65 \cdot (8\text{kg/m}^3 - 0,64\text{kg/m}^3) \cdot 62,52\text{m}^3 - 0,05 \cdot 556,64\text{kg} \\ = \mathbf{271,263\text{kg/ciclo}}$$

$$SS_{\text{inerte/ciclo}} = (SS_{\text{total}} - SSV) \cdot Q_c = (4,320 - 1,728) \cdot 62,52 = \mathbf{162,05\text{kg/ciclo}}$$

○ Masa contenida en el reactor al final del ciclo operativo

$$X_n = X_0 + \frac{p_{xn}}{0,8} + SS_{\text{inerte}}$$

$$X_n = 1034,48 + \frac{271,26}{0,8} + 162,05 = \mathbf{1535,605\text{kg/ciclo}}$$

La purga de lodos se producirá durante el final del día (dos ciclos operativos)

$$1535,605\text{kg/ciclo} \cdot 2\text{ciclos/día} = \mathbf{3071,21\text{kg}}$$

La masa después del vaciado es de 1034,48Kg por lo que la producción de fangos al cabo del día será:

$$3071,21 - 1034,48 = \mathbf{2036,73\text{kg/d}}$$

Los fangos en exceso producidos durante el tratamiento contienen una concentración del 8% y un peso específico de 1020kg/m^3

$$Q_{\text{fangos}} = 2036,73\text{kg/d} / 1020 \cdot 0,08 = \mathbf{24,6\text{m}^3\text{fangos/día}}$$

Dos son los factores que condicionan el correcto funcionamiento de un reactor discontinuo secuencial:

- El volumen ocupado por el fango sedimentado antes de que se produzca la purga de fangos
- La profundidad del líquido limpio situada por encima del nivel de fangos.

Volumen necesario para el almacenamiento del fango para una concentración media de 8000mg/l y un peso específico de 1020 kg/m³ será

$$V_f = \frac{\text{Masa del reactor cada 2ciclo}}{\text{Peso .fangos}} = \frac{3071,21}{1020 \cdot 0,08} = \mathbf{37,63m^3}$$

Si al final de cada ciclo se vacía el 65% del reactor el Volumen después del vaciado es del 35%.

- Volumen Resultante Después del Vaciado:

$$35/100 \cdot V_f = 0,35 \cdot 196m^3 = \mathbf{68,6m^3}$$

El volumen de fangos de 37,63m³ es menor que los 68,6m³ resultantes tras el vaciado de Agua.

El volumen de vaciado de los reactores se suele limitar de forma que en el punto más largo del ciclo de vaciado el nivel del líquido debe estar a una distancia prudencial del nivel de fango para evitar la descarga de sólido sedimentado. Generalmente esta debe ser mayor de 50cm

- $P_{inf} = (1-0,65) \cdot H_{total} = 0,35 \cdot 6m = 2,10m$
- $P_{fango} = (2,10) \cdot 37,63/68,6 = 1,15m$

$$\text{Profundidad líquido-fango} = 2,10m - 1,15m = \mathbf{0,95m}$$

Como 95cm > 50 cm .Consideramos que la separación liquido fango es la suficiente.

- **NECESIDADES DE AIRE**

Para calcular la cantidad de Oxígeno necesario utilizaremos la siguiente expresión:

$$Kg\ O_{2/ciclo} = X_0 + \frac{Q \cdot (S_0 - S)}{f} - 1,42 P_{X_n}$$

Siendo:

- Q= Caudal efluente entra durante el ciclo= 62,52m³
- So= Concentración de DBO a la entrada = 8Kg/L
- f= factor conversión de la materia orgánica=0,68
- P_{Xn}= Sólidos generados durante el ciclo operativo = 272 Kg

$$Kg\ O_{2/ciclo} = \frac{62,52 \cdot \frac{m^3}{ciclo} \cdot (8 - 0,64)}{0,68} - 1,42 \cdot 272 = \mathbf{290Kg\ O_2}$$

A este oxígeno hay que aumentarle un 10% y un 20% para los procesos de nitrificación. Como inicialmente no vamos a tener en cuenta dicho proceso, Resulta que el oxígeno necesario total es:

$$\frac{Kg\ O_{2/ciclo}}{\rho_{aire}} = \frac{290kgO_{2/ciclo}}{\frac{1,32kg}{m^3} \cdot 0,232kgO_2/Kg_{aire}} = \mathbf{946m^3}$$

El caudal de aire necesario suponiendo que la eficiencia de oxígeno es del 8%

$$Q_{aire\ necesario} = Q_{aire}/eficiencia\ O_2 = 946 / 0,08 = \mathbf{11825m^3\ aire/ciclo}$$

Según la descripción de nuestro sistema secuencial en cada ciclo las necesidades se producen durante 3horas, por lo que el caudal de aire necesario por hora será:

$$Q_{h_{airenecesario/ciclo}} = 11825 / 3h.Ciclo = \mathbf{3941,67\ m^3\ aire/hora}$$

Considerando un factor de seguridad de 1,2 de los sopletes.

$$Q_{airehorario\ ciclo} = 1,2 \times 3941,67 = \mathbf{4\ 729,2m^3/h}$$

AIRE NECESARIO

$$- Q_{\text{AIRECICLO}} / Q_{\text{AGUA CICLO}} = 11825,5\text{m}^3 / 62,52\text{m}^3 = 189\text{m}^3 \text{ Aire/m}^3 \text{ Agua}$$

- Necesidades de agitación

Las necesidades energéticas típicas con aireadores mecánicos, varía entre los 19 y los 39 w/m³. Tomaremos 20w/m³

$$\text{Necesidad agitación} = 20\text{w/m}^3 \cdot 196\text{m}^3 = 3920\text{W}$$

El aire introducido se produce por difusión de en el flujo descendente de los aireadores radiales en la zona situada por debajo de los impulsores. El impulsor se utiliza para dispersar las burbujas de aire y mezclar el contenido de oxígeno.

- Aporte específico 1,8kg O₂/kWh
- Rendimiento motorreductor 0,95

- **RENDIMIENTOS DEL REACTOR BIOLÓGICO Y BALANCE FINAL**

En la siguiente tabla se muestra un cuadro resumen con los valores del agua clarificada a la salida del Tratamiento Biológico.

PARÁMETRO	ENTRADA TRATAMIENTO BIOLÓGICO (mg/l)	% ELIMINACIÓN	SALIDA TRATAMIENTO BIOLÓGICO (mg/l)
MES	4320	80	864
DBO5	8000	92	640
DQO	13756,4	90	1375,64
Aceites y Grasas	80,58	45	44,319

Tabla 10.23 Características del Agua a la Salida del Tratamiento Secundario.

Tras finalizar el Tratamiento Secundario, concluyendo el proceso depurativo para la línea de aguas, los valores obtenidos del agua reflejados en la tabla de arriba nos muestran que se cumple con las exigencias legales, confirmando que la solución propuesta es válida.

II. CÁLCULO DE LINEA DE FANGOS

- PRODUCCIÓN DE FANGOS

Caudal de fango a purgar desde el SBR

Todos estos fangos purgados se mandan en su totalidad a un espesador por gravedad. Las características del fango que está en el espesador son:

- Peso específico = 1020 kg/m^3
- Peso del fango = $24,6 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1020 \text{ kg/m}^3 = 25092 \text{ kg/d}$
- Cantidad de Sólidos (2%) = $25092 \text{ kg/día} \cdot 0,02 = 501,84 \text{ kg/d}$
- Cantidad de agua (98%) = $25092 \text{ kg/día} \cdot 0,98 = 24590,16 \text{ kg/d}$
-

II.1 ESPESADO DE FANGOS

○ Consideraciones generales

Los lodos producidos en el reactor biológico contienen una gran cantidad de agua, en torno al 98%, mediante el *espesador de gravedad* se va a intentar concentrar estos fangos hasta niveles del 3% y el 6%. Este hecho producirá un mayor rendimiento en el proceso de deshidratación trabajando con menos volúmenes de fangos y mejor homogeneización de los fangos.

Los criterios de dimensionamiento que debe seguir el espesador son:

Carga Hidráulica ----- $< 10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$

Carga específica de SS----- $19\text{-}38 \text{ KgSS}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$

Profundidad Máxima ----- 3m (sin tolva)

Concentración de lodos ----- 3-6%

- DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESADOR

Al espesador llegan fangos extraídos del reactor biológico mediante bombas centrífugas exteriores: los lodos espesados cada día serán enviados a la centrífuga

mientras que el 50% del caudal sobrenadante es recirculado a lo largo de día a la cabecera de la planta.

Datos de Partida

- Volumen de fangos a espesar : 24,65m³
- Masa de sólidos de fango a espesar 501,84 Kg

El espesador es circular, luego su superficie se determina

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

- Diámetro Valor mínimo de 3m
- El volumen útil de espesamiento será
- El volumen de fangos espesados al día se determina mediante la siguiente ecuación

$$Q_{FE} = \frac{C_s}{C_{FE} \rho_{fe}}$$

Siendo:

- Q_{FE} caudal de fangos espesados (m³/d)
- C_s = Cantidad de sólidos a espesar = 501,84Kg
- C_{FE} = Concentración prevista en los fangos espesados (6%)
- ρ_{FE} = Densidad prevista de los fangos espesados = 1060Kg/m³

$$Q_{FE} = \frac{501,84_{Kg}}{0,06 \cdot 1060_{Kg/m^3}} = 7,89_{m^3/dia}$$

El volumen de efluente sobrenadante será

$$V_{sobrenadante} = 24,60 - 7,89 = 16,71 m^3/d$$

Siendo el caudal enviado a cabecera de planta

$$50\% Q_{sobrenadante} = 8,35 m^3/día / 24 horas/día = 0,35 m^3/h.$$

Para llevar a cabo el proceso de espesado de los lodos se ha elegido un espesador circular cubierto tipo Windhoff. Se trata de un espesador de flujo horizontal. Los lodos entran por la parte superior repartiéndose desde el centro a la periferia, ayudado de un cilindro deflector.

El sistema de barrido es mediante un eje de rasquetas acoplado sobre un casquillo.

El sistema de rasqueta de barrido de fondo es accionado desde el eje central del que cuelga, girado mediante un motor-reductor, situado en la parte central del espesador. Las rasquetas de fondo barren el fango hacia la poceta central.

Características del espesador:

- Material PRVF
- Diámetro interior: 5m
- Altura total : 3m
- Superficie. 19m²
- Volumen total 57m³
- Pendiente solera 105
- Espesor Cubierta: min 20cm

Características del puente móvil:

- Eje central, construido en tubo de acero: Adaptador del eje central, construido en redondo de acero.
- Brazo diametral Soporta rasquetas, construido en perfiles laminados de acero.
- Rasqueta de barrido, construidas en neopreno, 2 barridas por revolución
- Caja de control de carga con 2 interruptores
- 1º Regulado al 60% del par nominal del alarma
- 2º Regulado al 90% del par nominal para detenimiento del motor.

Para facilitar la posterior deshidratación de los fangos se añadirá polielectrolito catiónico.

II.2 DOSIFICACIÓN FANGO PROCEDENTE DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

La dosificación necesaria para fangos procedentes de tratamiento biológico de fangos activados se estima en **250ppm**.

Por tanto el consumo diario de floculante asciende:

$$- 250\text{ppm} = 250 \cdot 10^{-6}$$

$$- 250 \cdot 10^{-6} \cdot 7,89\text{m}^3/\text{día} = 0,002\text{m}^3 = \mathbf{2\text{l}}$$

Teniendo en cuenta que la capacidad del depósito de polielectrolito es de 100l

$$100/2 = 50 \text{ días}$$

Es decir, cada 50 días hay que cambiar el depósito de polielectrolito.

Las características de la bomba dosificadora de polielectrolito son:

- De pistón-membrana hidráulica
- Caudal 01-5 litros/hora
- Potencia: 0,25 kW

Accesorios

- 1 Válvula antirretorno
- 1 Válvula de bola
- 1 Válvula de seguridad

II.3 DESHIDRATACIÓN DE FANGOS

La centrifuga de cambio maciza ofrece buenos rendimientos. Con estos equipos se pueden obtener una torta de fango con un contenido en humedad de 70 al 80% y en función del tipo de fango la concentración de sólidos puede variar entre el 10 y el 35%.

El caudal a deshidratar por la máquina centrifugadora es de 10,80m³.

$$\text{Masa} = \rho_{\text{FE}} \cdot V_{\text{FE}} = 1060\text{kg/m}^3 \cdot 7,89 \text{ m}^3/\text{día} = \mathbf{8\ 363,4 \text{ kg/d}}$$

A la salida del deshidratador se obtienen dos productos, por un lado la torta de fango deshidratada (aproximadamente un 15%) y por el otro el agua de deshidratación.

$$\text{Masa Tarta de fango} = M_{FE} \cdot (0,15) = 1\,254,51 \text{ kg/d}$$

$$\text{Masa de agua deshidratada} = M_{FE} \cdot (0,85) = 7\,108,89 \text{ kg/d}$$

- La torta de fango se caracteriza por tener un porcentaje de agua aproximadamente del 25% y un 75 de sólidos
- Agua deshidratada posee el 0,1% de sólidos, mientras que el 99,9% es de agua.

PRODUCTO	Kg/día SÓLIDOS	Kg/día AGUA	Kg TOTALES
TORTA DE FANGO	940,88	313,63	1254,51
AGUA DE DESHIDRATACIÓN	7,11	7101,78	7108,89

Tabla 10.24 Composición productos resultantes Deshidratación de Fangos

El volumen Total de Fangos a evacuar al día a la salida del proceso de deshidratación será:

$$V_{Torta\ de\ fango} = \frac{Kg_{Torta\ fango/dia}}{\rho_{fango\ desh}} = \frac{1254,51\ Kg/dia}{1150\ Kg/m^3} = 1,09m^3/dia$$

II.4 ESTABILIZACIÓN DEL FANGO

La estabilización de los Fangos Deshidratados a la salida de la Centrifuga se realizará con CAL. La cantidad de Cal a añadir será del 35% de la Materia Seca del fango Deshidratado. Por tanto la Cantidad de CAL necesaria será:

$$\text{Kg CAL Necesaria al día} = 940,88\text{kg} \cdot 0,35 = 329,30\text{kg/día}$$

11. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Se dispondrá de un canal de entrada provisto como se ha descrito anteriormente de una reja manual.

En condiciones ideales, la velocidad en el canal de entrada debe mantenerse por encima de 0,4m/s para caudales mínimos para evitar la sedimentación de partículas y debe asegurarse una velocidad superior a los 0,6m/s e inferior a los 1,4m/s.

Mediante la fórmula de Manning podemos calcular la velocidad a la que el agua circula a través de la canalización que llega hasta donde tendrá lugar el desbaste de gruesos mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * I^{1/2} \quad \text{Fórmula de Manning}$$

$$Q = S * V$$

En donde

- V = Velocidad de paso del agua por el canal en m/s
- R_H = Radio Hidráulica (Sección ocupada por el agua/Perímetro mojado). En este caso como el agua circulará por un conducto que funciona en lámina libre, calcularemos este parámetro mediante distintas iteraciones para distintos valores de Altura Laminar,
- I = Pendiente de la canalización en tanto por mil. Se toma una pendiente de 0,3%.
- n = coeficiente de rugosidad Manning. = 0,012 (Para canales abiertos con pared de ladrillo y revestimiento de cemento).
- S = Sección que ocupa el agua en m²

A continuación se muestra una tabla con distintas iteraciones de la cual obtenemos el valor de la velocidad de paso tanto a caudal Medio como a caudal Máximo.

ALTURA(m)	SUPERFICIE(m ²)	PERIMETRO MOJADO(m)	RADIO HIDRAULICO (m)	VELOCIDAD (m ³ /s)	Q= S.V CAUDAL
0,07	0,021	0,44	0,048	0,601	0,0126
0,075	0,0225	0,45	0,05	0,619	0,0139
0,08	0,024	0,46	0,052	0,637	0,0153
0,095	0,0285	0,49	0,058	0,685	0,0195
0,1	0,03	0,5	0,060	0,700	0,0210
0,105	0,0315	0,51	0,062	0,713	0,0225
0,11	0,033	0,52	0,063	0,726	0,0240
0,115	0,0345	0,53	0,065	0,739	0,0255

Tabla 11.1 Cálculo Iterativo de la velocidad de paso según fórmula de Manning.

- Qm a Caudal Medio ~ **0,012 m³/s**
 - o Altura Lámina de agua 0,07m = V=0,601 >0,4m/s
- Qp Caudal Punta~ **0,0210 m³/s**
 - o Altura Lámina de Agua 0,1 m V= 0,700>0,6m/s

A la vista de los resultados se puede afirmar que la pendiente elegida produce unas velocidades de paso del agua suficientes para impedir la deposición de sólidos

- TRAMO POZO DE BOMBEO – TAMIZ

Desde el fondo del pozo de bombeo es necesario elevar el caudal de agua hasta el tamiz rotativo, el cual está situado sobre una estructura de soporte sobre la balsa de homogeneización a una altura sobre el suelo de 1,5m

En el fondo del depósito de bombeo se va a instalar 2 bombas capaces de elevar un caudal punta de 75m³/h, cada una de forma que puedan ser utilizadas independientemente como bomba reserva en caso de que esté fuera de servicio una de ellas. Ambas bombas trabajan de manera simultánea de manera que una funciona a caudal medio de 47,5m³/h y la otra se acciona cuando hay sobrecaudales y así soporte la impulsión del agua a caudal punta.

Del pozo de bombeo sale una conducción forzada cuyas características son:

Tubería de PVC: Diámetro 150mm

12. ESTUDIO DE MEJORAS A IMPLEMENTAR Y REPLANTEAMIENTO DISEÑO EDAR

En este punto se va a plantear la posibilidad de introducir algunas modificaciones en la instalación del Matadero objeto de nuestro Tratamiento de Aguas Residuales proyectado basadas en los documentos de Mejores Técnicas Disponibles tanto a nivel europeo, documentos BREF, como en su adaptación en las Guías de Mejores Técnicas Disponibles en España para la industria del Sector Cárnico.

Estas modificaciones se van a centrar en las operaciones de Sangrado y eviscerado por su elevada contribución a la contaminación al agua que tiene lugar durante dichas etapas. Se va a estudiar de manera cualitativa y en la medida de lo posible cuantitativa el impacto que supone la introducción de las mismas, para ello utilizaremos como base de partida para los cálculos datos de referencia que figuran en el BREF, haciendo un estudio comparativo con el diseño propuesto en este proyecto cuyos cálculos figuran en puntos anteriores y en los que no se ha tenido en cuenta dichas medidas de mejora, indicando el impacto y un posible rediseño de la planta de Depuradora Aguas Residuales generadas por el Matadero cuyos datos de Partida han servido de base para el proyecto.

12.1 MEJORAS BASADAS EN EL REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DEL MATADERO EN LA ETAPA DEL SANGRADO

Según el BREF, de todos los residuos que pueden participar en el aumento de carga contaminante, la sangre es el más importante, con una carga de DQO 150.000-200.00 mg/l, siendo el aporte de Nitrógeno otro aspecto contaminante.

El grado de recuperación de la sangre será muy importante ya que el grado de contaminación de las aguas se verá afectado en gran medida por la cantidad de sangre que esté presente en las aguas residuales.

La sangre puede ser considerada como residuo o como subproducto según el uso que se le dé y las condiciones higiénicas durante recogida, transporte y almacenamiento.

Según la guía MTD “la DQO de la sangre es de 375.000 mg O₂/l, por tanto cada litro de sangre que se recoge y almacena evita un vertido potencial de 375g de DQO”.

Mejora basada en la MTD 40 Optimización del desangrado y gestión de la sangre

La instalación debe estar provista de sistemas que permitan la recogida total de la sangre dentro de la zona de desangrado, reduciendo al mínimo la caída de sangre en otras partes de la instalación, evitando que los restos de la misma lleguen a los sistemas de recogida de aguas.

La mejora a realizar en la instalación está recogida en el BREF, consta de un sistema de drenaje con dos tuberías, una que conduce al tanque de almacenamiento de la sangre y otro que lleva desagüe. Durante el momento que tiene lugar el sacrificio la tubería que conduce al tanque de almacenamiento permanece abierta, mientras que durante las operaciones de limpieza la conducción que permanece abierta es la que conduce al desagüe. De esta forma se consigue que no se incorpore apenas sangre a las aguas residuales.

Según el BREF en la instalación de un sistema de drenaje doble combinado con bandejas de recogida de sangre hasta la zona de eviscerado y una bomba para alimentar el tanque de recogida de sangre se redujo el vertido total de DQO en un 22%.

Los valores que figuran en el BREF relativos al rendimiento de recogida de sangre según los métodos de tradicionales son, de recuperación de 16l en un minuto de un total de 18l, y de 3,5 litros en un minuto para el ganado porcino de un total potencial de 4l.

Si descontamos la carga contaminante de DQO correspondiente a la sangre recogida de 170 terneros y 150 cerdos que se sacrifican a diario en el Matadero que hemos tomado como referencia resulta una reducción de la DQO Total de un 22,77%, valor que coincide con el del caso práctico recogido en el BREF.

TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES MATADERO ANTES DEL REDISEÑO

	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	MES (mg/l)	GRASAS (mg/l)
Agua Entrada EDAR	19040	11440	8640	474
Agua Salida EDAR	<1750	<1000	<1000	<100
Rendimiento eliminación	>90,81%	>91,26%	>88,43%	>100,00%

Tabla 12.1 Rendimientos de eliminación necesarios antes de la implementación de mejoras

Aplicaremos dicha reducción a los datos de partida empleados en este proyecto resultando:

TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES MATADERO SISTEMA DOBLE DRENAJE				
	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	MES (mg/l)	GRASAS (mg/l)
Agua Entrada EDAR	14851,2	9152	8640	474
Agua Salida EDAR	1750	1000	1000	100
Rendimiento eliminación	88,22%	89,07%	88,43%	78,90%

Tabla 12.2 Parámetros de contaminación y Rendimientos de eliminación necesarios tras la implementación de mejoras en el la etapa de sangrado

- Unos de los problemas a la hora de reducir consumos de aguas es que en la mayoría de instalaciones, sólo se tiene como dato el consumo total de agua, según el BREF y el MTD no suelen proporcionarse los datos de consumos parciales por procesos u operaciones. En el BREF se recomienda en las instalaciones nuevas dotar de contadores específicos, para poder saber los consumos parciales. De esta forma a priori no vamos a poder saber la cantidad de agua que se utiliza durante la etapa de sangrado.
- Al considerar que el porcentaje total de agua es bastante pequeño en comparación con el que se destina a otros usos y operaciones que tienen lugar en el matadero no tendremos en cuenta la reducción de agua respecto al consumo global que supondría tratar de manera independiente la etapa de sangrado.

La recogida de la sangre de forma separada sin verterla a las aguas residuales reduce de forma muy significativa la carga contaminante presente en estas últimas. Se reduce también la carga de Nitrógeno.

Esta mejora tiene por inconveniente que la recogida de sangre implica mayor consumo energético, pero aún así el coste es inferior al de los sistemas de depuración y el pago de los cánones del vertido.

La guía MTD nos indica que esta mejora es aplicable en instalaciones nuevas, no obstante consideramos que podría adecuarse dicha mejora en una instalación preexistente.

12.2 MEJORAS BASADAS EN EL REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DEL MATADERO EN LA ETAPA DE EVISCERADO

MEJORA II BASADA en la MTD 5 “Minimización del agua utilizada para el transporte de intestinos”

Según la guía MTD “existen instalaciones en las que se utiliza agua para ayudar el movimiento de los intestinos de una zona a otra”.

Las modificaciones en las instalaciones en línea de proceso de manera que se sustituyan por sistemas de transferencia en seco. De esta forma se reduce el consumo de agua, y la carga contaminante de las aguas residuales como consecuencia de una disminución del aporte de contenidos intestinales.

Con esta mejora se reduce el consumo de agua, la guía MTD no da un valor concreto puesto que el ahorro dependerá de varios factores entre los que se encuentra el diseño de la instalación. En cualquier caso es significativo la reducción de carga contaminante de las aguas Residuales, como consecuencia según indica la guía MTD de la disminución de aporte de contenidos intestinales.

MEJORA III basada en la MTD 11 “Evitar la incorporación de Sólidos (orgánicos) a las aguas residuales”.

Según la guía MTD esta medida tiene por objeto evitar la incorporación que los componentes de subproductos se transfieran a las aguas residuales.

Esta mejora indica una serie de acciones a tener en cuenta:

- Recogida en seco de los Residuos Presentes en el suelo y otras superficies antes de la limpieza con Agua
- Evitar la entrada de Restos Orgánicos al Sistema de Desagüe
- Ubicación de Bandejas u otros Dispositivos de Recogida de Residuos.

El BREF no nos proporciona datos concretos relativos al ahorro de agua por la implementación de estas mejoras, si que nos indica que hasta un 65% se redujo la cantidad de detergentes.

Coste de la MTD es casi despreciable y se reduce a la instalación de rejillas o trampas en boca de desagüe. Según el BREF en un caso práctico mediante la recogida húmeda a vacío de los 0,2 a los 0,8 Kg por animal, disminuyendo la contaminación del agua entre 40-50g de DBO por animal.

Teniendo en cuenta la reducción de carga contaminante indicada en el BREF para un ejemplo concreto con la aplicación de esta mejora, al implementarla en nuestro Matadero de referencia junto con la medida descrita en los párrafos anteriores los parámetros de carga contaminante a la entrada de la EDAR se ven reducidos, siendo los nuevos los que figuran en la siguiente tabla:

	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	MES (mg/l)	Grasa (mg/l)
Agua Entrada EDAR	14762	9098	8640	474

Tabla 12.3 Parámetros de Contaminación a la entrada de la Estación de aguas tras la implementación de las mejoras en el proceso de Sangrado y Eviscerado.

12.3 ESTUDIO REDISEÑO ESTACIÓN AGUAS RESIDUALES MATADERO

Dado que el agua tratada que sale de la EDAR del matadero diseñada va a parar a la red de Alcantarillado Municipal donde posteriormente se tratará en la EDAR Municipal, vamos a estimar de manera aproximada si con la implementación de las mejoras en la operación de Sangrado recogidas en el BREF que hemos implementado en este punto puede ser suficiente una EDAR compuesta con el Pretratamiento y Tratamiento Primario diseñado y cuyos cálculos hemos indicado con anterioridad prescindiendo del Tratamiento Biológico.

A efectos de realizar los correspondientes cálculos tomaremos los porcentajes de eliminación de carga contaminante que figuran en el BREF. De esta forma se indica un caso práctico de un matadero en el que se utiliza un Tamiz Rotativo cuyo tamaño de malla es de 1mm, muy semejante al que hemos escogido en nuestro proyecto (0,75mm),

el cual permite, según lo reflejado en el BREF, unos rendimientos de eliminación según figura en la siguiente tabla:

CONTAMINANTE	%REDUCCIÓN
DBO	10-40
DQO	-
GRASAS	-
SOLIDOS SEDIMENTABLES	50-90

Tabla 12.4 Porcentajes eliminación Tamiz Rotativo según ejemplo descrito en el BREF

Para el caso del Tratamiento de eliminación de grasas, el BREF refleja los porcentajes de eliminación que se pueden obtener con un tratamiento físico-químico mediante la adicción de floculantes y coagulantes combinado con un tratamiento de aire disuelto (DAF). Dicha solución es muy semejante a la que hemos implementado en este proyecto. Los rendimientos de eliminación que figuran son superiores a los que hemos considerado en nuestro apartado de cálculos y son los que constan en la siguiente tabla:

CONTAMINANTE	%REDUCCIÓN
DBO	70
DQO	50- 54
GRASAS	85
SOLIDOS SEDIMENTABLES	60
NITROGENO	50

Tabla 12.5 Porcentajes eliminación Tratamiento de Grasas según ejemplo descrito en el BREF

Teniendo en cuenta dichos porcentajes y despreciando la reducción que se pueda producir en el Desbaste de Gruesos y el Tanque de Homogeneización, con la implementación de las mejoras descritas a la salida del Tratamiento Primario de la EDAR diseñada en puntos anteriores obtendríamos un efluente con las siguientes características:

	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	MES (mg/l)	Grasa (mg/l)
ENTRADA DEPURADORA	14762	9098	8640	474
%REDUCCIÓN TAMIZADO	35	30	75	15
SALIDA TAMIZADO	9653	6406	2160	402,9
%REDUCCIÓN TRATAMIENTO GRASAS	54	60	60	85
SALDA TRATAMIENTO PRIMARIO	1681	948	864	60

Tabla 12.6 Porcentajes de eliminación a la salida del Tratamiento Primario con las mejoras implementadas.

Como se puede apreciar los valores obtenidos que refleja la tabla son inferiores a los valores límite que marca la Ley vigente en materia de aguas de la Comunidad de Madrid para industrias que vierten sus aguas en la Red de colectores municipales. Por tanto se podría plantear la posibilidad de realizar un Tratamiento de Aguas residuales simplemente compuesta por Pretratamiento y Tratamiento Primario, lo que supondría un gran ahorro económico y unas necesidades de espacio menores.

13. CONCLUSIONES

En la planta de tratamiento de Aguas Residuales descrita en el punto 9 y cuyos cálculos se han realizado a continuación del mismo, se han obtenido unos valores de vertido inferiores a los límites establecidos en el anexo 2 de la Ley de Aguas vigente en la Comunidad de Madrid para aquellas industrias que viertan a la Red de Alcantarillado Municipal recogidas en el anexo 1 de la ley IPIC de 2002 dicha de acuerdo con la directiva europea, entre las que se encuentra el sector de los mataderos.

En la siguiente tabla se muestra un cuadro resumen donde se refleja los porcentajes de eliminación de la concentración de los contaminantes más significativos de las aguas residuales de este tipo de industrias individualizados según las etapas del proceso depurativo propuesto.

PARAMETRO	PRETRATAMIENTO		TRATAMIENTO PRIMARIO		TRATAMIENTO SECUNDARIO		GLOBAL	
	VALOR ENTRADA (mg/l)	% ELIMINACION	VALOR SALIDA PRETRAT. (mg/l)	% ELIMINACIÓN TRAT. PRIMARIO	VALOR SALIDA TRAT. PRIMARIO	% ELIMINACIÓN TRAT.SECUND.	SALIDA EDAR (mg/l)	% ELIMINACIÓN TOTAL
DBO₅	11440	20,00%	9152	12,59%	8000	92,00%	640	94,41%
DQO	19040	15,00%	16184	15,00%	13756	90,00%	1375	92,78%
MES	8640	35,00%	5616	23,08%	4320	80,00%	864	90,00%
Aceites y grasas	474	14,98%	403	79,90%	81	45,68%	44	90,72%

Tabla 13.1 Rendimiento de eliminación principales contaminante durante las etapas de depuración.

Un análisis de estos datos nos permite concluir que con la implantación de solución proyectada cumpliríamos a día de hoy con las exigencias legales en materia de vertidos contaminantes de la Comunidad de Madrid, siendo los valores límites de los contaminantes los mismos que figuraban cuando entró en vigencia la Ley de Aguas en el año 1993. Se hace mención a esto puesto que estos valores límite no son iguales para el resto de España, existiendo comunidades más restrictivas con ciertos contaminantes

como puedan ser por ejemplo el DQO o el DBO_5 con valores inferiores a 1500mg/l y 800 mg/l respectivamente.

Estos valores son más restrictivos si nos guiamos por las Directivas europeas y las recomendaciones recogidas en las guías de mejores Técnicas Disponibles.

Los resultados obtenidos no cumplirían con las recomendaciones marcadas por la normativa europea. Si a este hecho le añadimos el gran coste que supone implantar la solución propuesta al que hay que sumar los elevados costes de mantenimiento que conlleva el funcionamiento de la misma, más el canon de vertido que es proporcional al volumen de vertido y a la carga contaminante de este, queda patente que antes de llevar a cabo dicho proyecto es fundamental hacer un estudio del proceso productivo del matadero del que procede el agua residual cuyos datos nos han sido facilitados, puesto que pequeñas mejoras con un coste relativamente pequeño en comparación con el de una implementación de una depuradora, pueden mejorar ampliamente la reducción de carga contaminante de vertido simplificando el diseño y la obra de la depuradora que se proyecte, permitiendo muy probablemente un ahorro mayor que el invertido en las mejoras.

Con un simple análisis de los datos facilitados, ya que no nos es posible hacer un estudio de las instalaciones del Matadero del que proceden, podemos ver unos valores de emisión para la DQO, MES y DBO_5 superiores a los niveles medios tanto de los mataderos Europeos como españoles. Es fácil de ver este dato ya que el BREF recoge dicha información proporcionando datos de varios mataderos. Este dato nos puede hacer sospechar que muy probablemente no se esté siendo riguroso con la recogida de la sangre, puesto que es el vertido más contaminante en materia orgánica, como se ha dicho anteriormente con valores de DQO que pueden ser superiores a los 200.000mg/l, lo cual podría explicar y ser causa de un valor tan alto como el facilitado. A esta intuición le podemos añadir el hecho de que por ser un matadero municipal carente de Tratamiento de Depuración (presuponemos que con los datos de MES facilitados ni tan siquiera Pretratamiento ni Tratamiento Primario) la instalación tenga cierta antigüedad, y que por tanto no esté diseñada con un sistema para la recogida de sangre independiente.

Existen Mataderos Municipales, un ejemplo es el de la Línea de la Concepción, donde entre las medidas que se proyectaron para la mejora de la instalación está una

muy semejante a la descrita en el punto de mejoras que consistió en anular el desagüe donde se vertía la sangre, creando una nueva red que recoge exclusivamente la sangre procedente del sangrado que va a parar para tal propósito a unos tanques también de nueva implantación.

Los valores de consumo de agua facilitados están dentro de la media, la guía de mejores Técnicas Disponibles publicada para el Sector Cárnico en España establece varias medidas orientadas a la reducción del Agua, muy probablemente se podría estudiar la aplicación de alguna de ellas.

Haciendo un análisis cualitativo, ya que no tenemos datos concretos para hacerlo más exacto y, tomando como referencia los rendimientos recogidos en el BREF para la eliminación de contaminante en un ejemplo práctico para Tratamiento de eliminación de grasas DAF con adición previa de coagulantes, en mi modesta opinión y teniendo en cuenta las fuentes consultadas, algo superiores a los esperados, hemos hecho una simulación con una posible repercusión de la implantación de mejoras concluyendo que se podría llegar a prescindir del Tratamiento Secundario, siendo suficiente con un Tratamiento Primario con todas las ventajas en cuanto a espacio y precio que eso implicaría. Por supuesto para poder afirmar esto con rotundidad habría que hacer un estudio más detallado y preciso.

A continuación y para finalizar se anexa tabla donde se muestran unos datos que nos permiten comparar de manera aproximada los parámetros de entrada con y sin medidas de mejora.

PARAMETRO	SIN MEJORAS		CON MEJORAS PROPUESTAS	
	VALOR ENTRADA	%ELIMINACION NECESARIO	VALOR ENTRADA	%ELIMINACION NECESARIO
DBO5	11440	91,26%	9098	89,01%
DQO	19040	90,81%	14762	88,15%

Tabla 13.2 Porcentajes de eliminación necesarios diseño de EDAR con y sin mejoras descritas.

14. BASES LEGALES DEPURACION

Los efluentes obtenidos como consecuencia de la actividad que tiene lugar en los mataderos requieren de un correcto tratamiento antes de ser incorporados al sistema de alcantarillados, cumpliendo con la regulación y normativa establecidas a nivel nacional y Comunitario.

A continuación se enumera la Normativa a tener en cuenta para la realización de un Planta Depuradora de una Industria de este tipo, tanto a nivel medioambiental como en la parte que corresponde a Obra civil:

NORMATIVA AMBIENTAL

- Ley de aguas 29/1985 de 2 de agosto
- Ley 10/1993 de 20 de octubre sobre Vertidos Líquidos Industriales al Sistema Integral de Saneamiento de la Comunidad de Madrid.
- Reglamento de Dominio Público Hidráulico (PD 8498/1986 y RD 9271/1988) conjuntamente con las ordenes del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de 12 de noviembre de 1987, 13 de marzo de 1989 y 28 de junio de 1991.
- Directiva del consejo 91/271/CEE y 98/15CE
- RD 2116/1998
- Real Decreto 1664/1998 que regula el vertido a cauce público
- Real Decreto Ley RD 11/1995 de 28 de diciembre por el se transpone al derecho interno español la directiva 91/271CEE
- Reglamento CE 1774/2002
- Ley 16/2002 de 1 de julio de prevención y control integrados de la contaminación. En la que se definen las mejores técnicas Disponibles
- Real Decreto 140/2003 de la calidad del agua para uso doméstico, Real Decreto 140/2003 de la calidad del agua para uso doméstico,

- Real Decreto 1310/1990 y orden 26 de octubre de 1993 en los que se Regula la utilización de los lodos de depuración en el sector Agrario.

NORMATIVA DE EDIFICACIÓN

- Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE num 74 de 28 de marzo de 2006). Modificado por el Real Decreto de 1371/2007 de 19 de octubre (BOE núm 254 de 23 de octubre de 2007)
- Instrucción de hormigón estructural (EHE). Aprobada por Real Decreto 1247/2008 de 18 de julio. (BOE 22/08/2008).
- Real Decreto 105/2008 que regula la producción y gestión de los residuos de la construcción y demolición

NORMATIVA DE INSTALACIONES

- Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT) e instrucciones técnicas complementarias (ITC). Real Decreto 842/2002 2 de agosto (BOE num 224 de 18 de septiembre de 2002).
- Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE). Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio. (BOE num 207 de 29/08/2007).

NORMATIVA SEGURIDAD

- Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Ley 31/1995 de 8 de noviembre (BOE num 269). Ley 31/2006 de 18 de octubre (BOE num 250 de 19 de octubre de 2006). Ley orgánica 3/2007 de 22 de marzo (BOE num 71 de 23 de marzo de 2007)
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre (BOE num 256 de 25 de octubre de 1997).

- Reglamento (CE) nº999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de mayo de 2001 por el que se establecen disposiciones para la prevención, el control y la erradicación de determinadas encefalopatías y sus posteriores modificaciones.

OBLIGACIONES LEGALES QUE ATENDER

A los titulares de actividades industriales o comerciales que realicen vertidos en el sistema Integral de Saneamiento de la Comunidad de Madrid, están prohibidos determinados vertidos al sistema Integral de Saneamiento, enumerados en el anexo I de la ley 10/1990. Para tales vertidos se establecen:

- Unas limitaciones cuyos máximos instantáneos de contaminación se incluyen en la tabla del Anexo II.
- Disponer la presente al Ayuntamiento, donde se ubique la instalación.
- La correspondiente identificación Industrial, conforme al anexo I del decreto 40/1994.
- Disponer de una autorización de vertido, para ello deberán presentar una solicitud del vertido donde está ubicado la actividad, conforme al modelo de documento de solicitud de vertido indicado en el Anexo II del decreto 40/1994.

La caracterización y cuantificación de los vertidos líquidos se realiza según los procedimientos de muestreo y análisis que se regulan en el decreto 62/1994 de 16 de junio, de normas complementarias para la caracterización de los vertidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento.

Llevar un libro registro en el que se anoten las características e incidencias de los vertidos.

Deberán construir, explotar y mantener las instalaciones de depuración necesarias, asimismo deberán presentar proyectos de instalación de pretratamiento o depuradora específica para el caso que los vertidos reúnan las condiciones exigidas para su incorporación al Sistema Integral de Saneamiento.

- Los requisitos exigidos para el vertido de aguas residuales de aquellas actividades industriales incluidas en el anejo 1 de la Ley 16/2002 se regulan

en la Autorización Ambiental Integrada, expedida por la comunidad autónoma en la que radique la instalación.

Los límites cuantitativos máximos asignables a los vertidos dependen del destino final que tengan, pudiendo ser:

- vertido al mar
 - vertido a colector
 - vertido a cauce público
-
- **Vertido a cauce público:** Realizar un vertido a cauce público es equivalente a verter al dominio público hidráulico, el cual está constituido por las aguas continentales, los cauces de corrientes naturales, los lechos de lagos y lagunas y los acuíferos subterráneos.

La autorización de vertido a dominio público hidráulico perteneciente a una cuenca intracomunitaria, queda sustituida por la autorización ambiental integrada para aquellas actividades industriales incluidas en el anejo 1 de la *Ley 16/2002*.

Por el contrario, en el caso de que el vertido sea a cuencas intercomunitarias, los organismos de cuenca correspondientes emitirán un informe sobre la admisibilidad del vertido o, en su caso, sobre las características, condiciones y medidas correctoras del vertido. Este informe tiene carácter vinculante para el órgano autonómico competente para otorgar la autorización ambiental integrada y sustituye a la autorización de vertido de aguas residuales. Por tanto, cuando el informe del organismo de cuenca imponga valores límites de emisión, deberán incorporarse necesariamente al contenido de la autorización ambiental integrada.

Para establecer las condiciones de los permisos se tendrá en cuenta el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el *Real Decreto 849/1986, de 11 de abril* y modificado por el *Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo* y los requisitos mínimos fijados por los Organismos de Cuenca correspondientes.

-Vertidos al mar

Cuando los vertidos de aguas residuales se realizan **desde tierra al mar** se aplica el régimen legal en materia de costas, el cual se fundamenta sobre dos normas básicas de ámbito estatal:

-Ley 22/1988 de costas, de 28 de julio

- Reglamento de Costas aprobado por el Real Decreto 1471/1989 de 1 de diciembre y modificado por el Real Decreto 1112/1992, de 18 de septiembre.

La autorización de vertido desde tierra al mar queda sustituida por la autorización ambiental integrada para aquellas actividades industriales incluidas en el anejo 1 de la *Ley 16/2002*. La principal diferencia respecto al caso de vertido a cauce público, es que no es necesario un informe vinculante de un organismo estatal, ya que es el mismo órgano autonómico quién gestiona ambos procedimientos administrativos.

El tercer caso en cuanto al medio receptor donde se vierten las aguas residuales es cuando se realiza a una **red de saneamiento, colector o estación depuradora**. El titular de la instalación donde se realiza el vertido puede ser un ente público o privado. La autorización de vertido a colector queda sustituida por la autorización ambiental integrada para aquellas actividades industriales incluidas en el anejo 1 de la *Ley 16/2002*.

El agua vertida por la instalación al colector será depurada junto con otras aguas residuales urbanas y/o industriales en una estación depuradora antes de su vertido a cauce público o al mar.

Por tanto, en la determinación de los valores límite de emisión de cada parámetro contaminante habrá que considerar las características de la depuradora que las recibe, su capacidad, el destino de las aguas depuradas, la calidad de los fangos generados, así como cualquier otra consideración que pueda provocar el mal funcionamiento de la misma.

15. BIBLIOGRAFIA

1. Metcalf & Eddy: *“Ingeniería de las Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización”*, Editorial. McGraw-Hill, 1995.
2. A. Hernández Muñoz, A. Hernández Lehmann P. Galán Martínez. *“Manual de depuración Uralita”*. Editorial Paraninfo. 1996.
3. R. S. Ramalho *“Tratamiento de aguas residuales”*. Editorial Reverte 2003
4. Ricardo Isla de Juana *“Proyectos de plantas de Tratamientos de aguas”* Editorial Bellisco Ediciones, 1995.
5. Degremont. *“Manual técnico del agua”*. 1973
6. Juan Antonio Sainz Sastre. *“Tecnologías para la Sostenibilidad: Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales”*. Fundación EOI 2005
7. Antonio Rodríguez Fernández-Alba; Pedro Letón García; Roberto Rosal García; Miriam Dorado Valiño; Susana Villar Fernández; Juana M. Sanz García. *“Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales”* CITME.
8. Antonio Bermejo Torres *“El matadero, centro de control higiénico de la carne”* Editado por ediciones Ayala, S.L. y Publicaciones Técnicas Alimentarias, S.A.
9. *“Revista Tecnología del Agua”*. Números varios donde se hacían estudios de los vertidos de las principales industrias cárnicas

DOCUMENTACIÓN DE CONSULTA

1. Documentación de la Unión Europea. BAT reference Document (BREF
2. Jordi Ferrer Guiteras *“DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LOS MATADEROS DE PORCINO MEDIANTE LA TECNOLOGÍA SBR (Sequencing Batch Reactor)”*
3. *Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de las aguas. Vertidos de Mataderos e Industrias Cárnicas.*

4. EOI. *“Documentación modulo de contaminación del agua del Master profesional en Ingeniería y Gestión medioambiental”*. 2003
5. P. Agulló, R. Brown, R. Estany *“Evolución de una EDAR de aireación prolongada a MBR en un entorno de zona sensible: la EDAR de Vallvidrera (Barcelona). Revista Tecnología del Agua nº257 pags 52-59*
6. Antonio Aznar Jimenez. *“Documentación uc3m Descripción Estación Depuradora Agua Residuales Urbana (EDARU)Linares”*.
7. *Guía de la producción limpia para el sector de Matadero y transformación de carne avícola de la comunidad Valenciana*. 2009 Impiva
8. *Gestión y Mantenimiento de Depuradoras en Industrias Agroalimentarias. Curso de Formación específica para técnicos de industria Agroalimentaria*. Ainia
9. *Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de las aguas. Vertidos de Mataderos e Industrias Cárnicas. Escuela Organización Industrial. Sevilla. Abril 2008*
10. *Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente*

WEB DE CONSULTA:

<http://www.bio-fil.es/es/2013/04/usual-problems-sanitary-systems/>

<http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/pretratamientos-aguas-residuales.html>

<http://www2.cbm.uam.es/jalopez/personal/SeminariosVarios/ERARtexto.htm>

<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4aa7c26986558.pdf>

<http://aguasindustriales.es/estacion-depuradora-de-agua-residual-edar-la-rioja/>

https://www.ainia.es/html/sites/09/portalsociado/curso_depuras.pdf

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/revista_ambiental/06082010/rev_ambiental_vol1_num1_art4.pdf

<http://aguasindustriales.ventasdealtocantaje.com/category/diseño-de-plantas-depuradoras/>

<http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/409/04ARTICULOEN.pdf>

<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>

www.gedar.com

<http://datateca.unad.edu.co>

<http://www.dinotec.es/newscenter/wp-content/uploads/2011/10/noticia57.pdf>

<http://aguasindustriales.ventasdealtooctanaje.com/category/disenio-de-plantas-depuradoras/>